

## ارائه مدل ترکیبی برنامه‌ریزی و پیش‌بینی اتمام پروژه‌های نرم‌افزاری با استفاده از تکنیک‌های PERT، CPM و روش‌های آماری مدیریت ارزش کسب‌شده

جعفر قیدر خلجانی

دانشیار، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

راضیه سادات میراحمدیان

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

### چکیده

این تحقیق به بررسی روش‌های نوین برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های نرم‌افزاری می‌پردازد که بر اساس ادغام دو تکنیک PERT (تکنیک ارزیابی و بازنگری پروژه) و CPM (روش مسیر بحرانی) انجام شده است. استفاده همزمان از این دو روش، دقت بیشتری در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها فراهم می‌کند و امکان مدیریت بهتر زمان و هزینه را به مدیران پروژه می‌دهد. در این مطالعه، نمونه‌های عملی متعددی از پروژه‌های نرم‌افزاری بررسی شده‌اند تا کارایی این روش ترکیبی به دقت ارزیابی شود.

همچنین در این مطالعه، از روش مدیریت ارزش کسب‌شده (EVM) به همراه نمودارهای کنترلی برای پیش‌بینی دقیق‌تر مدت زمان و هزینه پروژه‌ها استفاده شده است. این مدل، امکان انتخاب بهترین برنامه اقدام برای بهبود عملکرد پروژه را نیز فراهم می‌سازد. با استفاده از روش‌های آماری و تحلیل داده‌ها، می‌توان دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش داد و ریسک‌های احتمالی را بهتر مدیریت کرد. بررسی داده‌های تاریخی پروژه‌های مشابه نیز به بهبود این پیش‌بینی‌ها کمک شایانی کرده است.

با ارائه یک روش ترکیبی که از قابلیت‌های PERT و CPM برای برنامه‌ریزی دقیق و از EVM برای کنترل و پیش‌بینی استفاده می‌کند، این تحقیق توانسته است مدلی جامع برای مدیریت پروژه‌ها ارائه دهد. این مدل با اعمال در فازهای مختلف پروژه و استفاده از داده‌های تجربی، امکان بهبود عملکرد پروژه‌ها و کاهش هزینه‌ها و زمان را فراهم می‌کند. نتایج حاصل از مطالعه موردی نیز نشان‌دهنده اعتبار و کارایی مدل پیشنهادی است. به طور کلی، این تحقیق نشان می‌دهد که ادغام تکنیک‌های برنامه‌ریزی و روش‌های آماری می‌تواند به بهبود قابل توجهی در مدیریت پروژه‌ها منجر شود و راهکاری عملی و مؤثر برای مدیران پروژه‌های نرم‌افزاری ارائه دهد.

**واژگان کلیدی:** مدیریت ارزش کسب‌شده، زمانبندی پروژه، مسیر بحرانی، مدیریت پروژه

## مقدمه

در دنیای امروز، مدیریت پروژه‌های نرم‌افزاری به دلیل پیچیدگی‌ها و ریسک‌های پیش‌بینی نشده، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. استفاده از روش‌های PERT (تکنیک ارزیابی و بازنگری پروژه) و CPM (روش مسیر بحرانی) به منظور برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها، دقت و کارایی را در فرآیند مدیریت پروژه افزایش داده است. این روش‌ها با ارائه یک نقشه راه دقیق و شفاف از مسیرهای بحرانی پروژه، به مدیران کمک می‌کنند تا برنامه‌ریزی موثرتری انجام داده و تصمیمات بهتری بگیرند.

با این حال، تنها استفاده از PERT و CPM برای پیش‌بینی مدت زمان و هزینه پروژه‌ها کافی نیست. مدیریت ارزش کسب‌شده (EVM) به عنوان یکی از موثرترین روش‌های مدیریت و کنترل پروژه، به مدیران این امکان را می‌دهد که عملکرد پروژه را در هر مرحله اندازه‌گیری و تحلیل کنند. این روش با ارائه شاخص‌های دقیق و قابل اطمینان، وضعیت کنونی پروژه و پیش‌بینی عملکرد آینده آن را نشان می‌دهد. با این وجود، شاخص‌های EVM به دلیل ماهیت تعیین‌کننده‌شان، ممکن است با افزایش ریسک‌ها در پروژه‌ها، دقت پیش‌بینی را کاهش دهند.

بنابراین، ترکیب این روش‌ها با استفاده از روش‌های آماری می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها را بهبود بخشد و انتخاب بهترین برنامه اقدام را امکان‌پذیر سازد. در این پژوهش، یک مدل ترکیبی از تکنیک‌های PERT، CPM و روش‌های آماری مدیریت ارزش کسب‌شده ارائه شده است که با استفاده از نمودارهای کنترلی و تحلیل داده‌های تاریخی، عملکرد پروژه را بهبود می‌بخشد و ریسک‌های احتمالی را به‌طور موثر مدیریت می‌کند. این مدل با ارائه یک مطالعه موردی، اعتبار و کارایی خود را نشان می‌دهد.

با توجه به رشد روزافزون پروژه‌های نرم‌افزاری و نیاز به روش‌های مدیریتی کارآمدتر، اهمیت توسعه و به‌کارگیری مدل‌های ترکیبی بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، استفاده از داده‌های تجربی و تاریخی برای تنظیم و بهینه‌سازی مدل‌های پیش‌بینی، گامی مهم در جهت افزایش دقت و کاهش ریسک‌های پروژه خواهد بود. به همین دلیل، تحقیق حاضر تلاش دارد تا با بررسی و تحلیل جامع‌تر این روش‌ها، راهکارهای عملی و مؤثرتری برای مدیریت پروژه‌های نرم‌افزاری ارائه دهد.

## روش تحقیق

مدیریت ارزش کسب شده (EVM) ابزاری قدرتمند برای سنجش عملکرد پروژه است. این روش با در نظر گرفتن همزمان زمان، هزینه و محدوده پروژه، تصویری دقیق از وضعیت پروژه ارائه می‌دهد. EVM بر اساس سه پارامتر کلیدی بنا شده است (PMBOK7): ارزش برنامه‌ریزی شده (PV) که بودجه کارهای برنامه‌ریزی شده تا یک زمان مشخص را نشان می‌دهد، ارزش کسب شده (EV) که نشان‌دهنده ارزش واقعی کار انجام شده تا آن زمان است و هزینه واقعی (AC) که کل هزینه‌های صرف شده برای پروژه تا آن زمان را شامل می‌شود. (Soltan And Ashrafi, 2020) با استفاده از این پارامترهای پایه، می‌توان شاخص‌های دیگری را نیز محاسبه کرد که اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت پروژه ارائه می‌دهند. برای مثال، تفاوت هزینه (CV) نشان‌دهنده اختلاف بین ارزش کسب شده و هزینه واقعی است و می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که پروژه چقدر از نظر بودجه در مسیر درست قرار دارد.

$$(1) \quad CV = EV - AC.$$

شاخص SV اختلاف بین ارزش کسب شده (EV) و ارزش برنامه‌ریزی شده (PV) را نشان می‌دهد، همانطور که در معادله زیر نمایش داده شده است (معادله شماره ۲). به عبارت دیگر، SV بیانگر این است که پروژه چقدر جلوتر یا عقب‌تر از برنامه است.

$$(2) \quad SV = EV - PV.$$



EVM به مدیران پروژه کمک می‌کند تا به طور پیشگیرانه، پروژه را کنترل کنند و در صورت نیاز، اصلاحات لازم را انجام دهند. این امر به نوبه خود احتمال موفقیت پروژه را افزایش می‌دهد.

روش زمان‌بندی کسب شده (Earned Schedule Method) بخشی از روش ارزش کسب شده (Earned Value Method) است که رویکرد متفاوتی برای اندازه‌گیری شاخص‌های زمان‌بندی ارائه می‌دهد. این روش برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ (Walter Lipke, 2003) معرفی شد.

مشکل روش ارزش کسب شده این است که در پروژه‌هایی که با تأخیر به اتمام می‌رسند، شاخص‌های زمان‌بندی (مثل تفاوت زمان‌بندی و شاخص عملکرد زمان‌بندی) به ترتیب صفر و یک را نشان می‌دهند. این به این معنی است که با وجود تأخیر در تکمیل پروژه، شاخص‌ها نشان می‌دهند که پروژه به موقع به اتمام رسیده است. به عبارت دیگر، این دو شاخص در انتهای پروژه و همچنین بعد از آن، دچار تغییرات ناگهانی در روند خود می‌شوند. (Colin and Vanhoucke, 2016)

از طرفی، چون شاخص عملکرد زمان‌بندی بر اساس واحدهای پولی محاسبه می‌شود، نیاز به روشی برای محاسبه شاخص‌های زمان‌بندی پروژه بر اساس واحد زمان است. روش زمان‌بندی کسب شده برای حل این مشکل و محاسبه دقیق‌تر شاخص‌های زمان‌بندی (تفاوت زمان‌بندی و شاخص عملکرد زمان‌بندی) بر اساس واحد زمان (مثلاً روز یا هفته) به کار می‌رود. با استفاده از این روش، می‌توان عملکرد زمان‌بندی پروژه را به شکلی واقعی‌تر ارزیابی کرد. (Lipke, 2003)

$$(۳) \quad ES = C + I$$

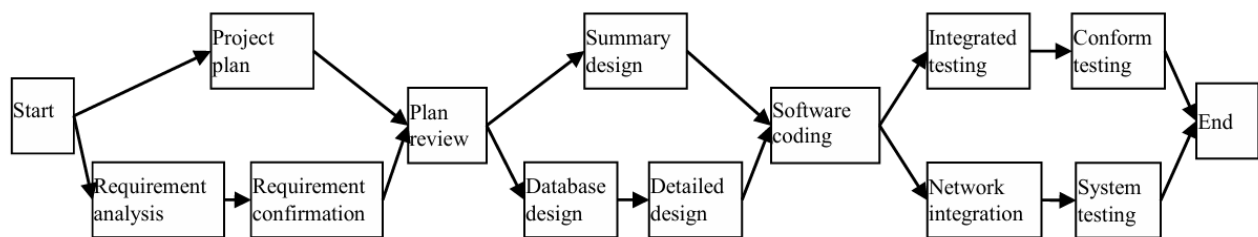
مقدار  $C$  با مقایسه ارزش کسب شده (EV) بر اساس ارزش‌های برنامه‌ریزی شده (PV) در هر دوره به دست می‌آید. روش محاسبه‌ی مقدار  $I$  نیز در معادله‌ی (۴) نمایش داده شده است.

$$(۴) \quad I = \frac{EV - PV_C}{PV_{C+1} - PV_C}$$

در مدیریت پروژه‌های نرم‌افزاری، نمودار شبکه‌ای (PDM) یا (precedence diagram method) که به آن "نمودار گره‌ای" یا "نمودار شبکه تک-پیکانی" نیز می‌گویند، ابزاری برای نمایش روابط بین فعالیت‌ها در یک پروژه است (Ren And Li, 2023). در این نمودار، هر "گره" نماینده یک فعالیت یا وظیفه مجزا و هر "پیکان" نشان‌دهنده وابستگی منطقی بین فعالیت‌ها است. جهت پیکان‌ها مشخص می‌کند که کدام فعالیت باید قبل از دیگری انجام شود (شکل ۱).

با توجه به روابط منطقی بین فعالیت‌ها، ترتیب انجام آن‌ها در نمودار شبکه‌ای مشخص می‌شود. تکمیل یک فعالیت (گره) پیش‌نیاز شروع فعالیت بعدی (گره بعدی که با پیکان به آن وصل شده) است. به عبارت دیگر، اگر یک فعالیت به اتمام نرسد، فعالیت بعدی قابل شروع نیست.

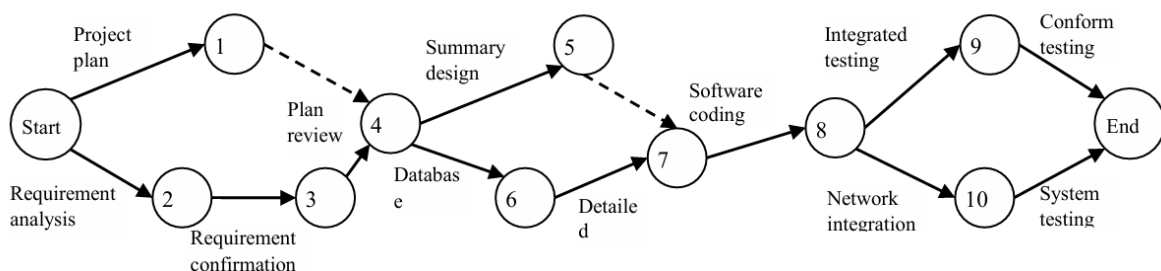
نمودار شبکه‌ای ابزاری کاربردی برای برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و کنترل پروژه‌های نرم‌افزاری است. این نمودار با نشان دادن روابط بین فعالیت‌ها به طور واضح، به درک بهتر مراحل پروژه و شناسایی تنگناها و وابستگی‌ها کمک می‌کند.



شکل ۱. شبکه PDM در پروژه نرم‌افزاری

در مدیریت پروژه، برای نمایش روابط بین فعالیت‌ها در یک پروژه از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. در روش ADM، هر پیکان نماینده یک فعالیت یا وظیفه و هر گره نشان‌دهنده تکمیل یک فعالیت و شروع فعالیت بعدی است. خطوط چین‌دار نیز برای نمایش وابستگی‌های خاص بین فعالیت‌ها استفاده می‌شوند.

انتخاب روش مناسب برای نمایش روابط فعالیت‌ها به نوع پروژه، پیچیدگی آن و ترجیح مدیر پروژه بستگی دارد. هر دو روش PDM و ADM مزایا و معایب خاص خود را دارند و می‌توانند در شرایط مختلف مفید باشند و در شکل ۲ نمودار ADM آمده است



شکل ۲. شبکه ADM در پروژه نرم‌افزاری

روش پرت (PERT) یکی از روش‌های رایج برای تخمین زمان فعالیت‌های پروژه است. این روش زمان تکمیل فعالیت را با در نظر گرفتن سه حالت خوشبینانه، محتمل و بدبینانه تخمین می‌زند که زمان محتمل حالت ایده‌آل است که در آن همه کارها طبق برنامه پیش می‌رود، اعضای تیم باهم همکاری نزدیک دارند و هیچ مشکلی وجود ندارد. در خصوص زمان بدبینانه نیز باید گفت در دنیای واقعی،

حوادث و ریسک‌های جزئی اجتناب‌ناپذیر هستند. این ریسک‌ها قابل کنترل بوده و تأثیر زیادی روی کل مدت زمان پروژه ندارند. با این حال، باعث می‌شوند پروژه دقیقاً سر وقت تمام نشود، و همچنین برای تعریف زمان خوشبینانه باید گفت که در این حالت، شرایط نامطلوبی مانند جابجایی پرسنل، عدم همکاری طرف مقابل، کمبود منابع و خرابی تجهیزات رخ می‌دهد که باعث طولانی شدن زمان پروژه نسبت به برنامه می‌شود.

PERT این سه حالت را با یک توزیع احتمالی خاص ( $\beta$ ) در نظر می‌گیرد و میانگین وزنی این سه زمان را به عنوان زمان تخمینی نهایی هر فعالیت در نظر می‌گیرد. فرمول محاسبه این میانگین وزنی در معادله ۵ ذکر شده است.

$$(5) \quad t_i = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}$$

با توجه به معادله ۵؛  $a$  زمان خوشبینانه،  $m$  زمان محتمل و  $b$  زمان بدبینانه می‌باشد. توزیع بتا را می‌توان به عنوان توزیع احتمالات در نظر گرفت، که احتمال وقوع همه احتمالات را در زمانی که احتمال خاص مشخص نیست، نشان می‌دهد. میانگین و واریانس به صورت معادله ۶ بدست می‌آید:

(6) Set,  $X \sim Be(a, b)$ , then:

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1} \\ &= \frac{1}{B(a, b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1}, 0 \leq x \leq 1 \end{aligned}$$

برای یک پروژه توسعه نرم افزار، چندین مسیر از ابتدا تا انتها وجود دارد. مسیری که طولانی‌ترین زمان را طی می‌کند، مسیر بحرانی و به مشاغلی که در مسیر بحرانی قرار دارند، مشاغل بحرانی می‌گویند. عملیات در مسیر غیر بحرانی بیش از زمان برنامه ریزی شده است که لزوماً تأثیری بر کل دوره ساخت و ساز ندارد. با این حال، اگر مشاغل در مسیر بحرانی بیش از زمان برنامه ریزی شده باشد، مدت زمان کل قطعاً تمدید خواهد شد. بنابراین، برای مدیران پروژه های نرم افزاری، مهم ترین مواردی که باید به آن توجه شود، فعالیت های حیاتی و مسیرهای حیاتی است.

مدت زمان انجام فعالیت که با  $t$  نمایش داده میشود که به معنای زمان مورد نیاز برای تکمیل یک کار و در نتیجه تخمین است. واحد زمان با توجه به وضعیت واقعی می تواند ساعت، روز، هفته، ماه و غیره باشد.

زود ترین زمان شروع یک فعالیت که با ES نمایش داده میشود، بزرگترین مدت زمانی است که کلیه فعالیت های پیش نیاز فعالیت انجام شده اند که بصورت معادله ۷ نشان داده میشود.

$$(7) \quad t_{ES} = \max_k \{t_{EF}(k)\}$$

روش فشرده سازی زمان پروژه یک روش تحلیل ریاضی است که به دنبال راه هایی برای کوتاه کردن مدت زمان پروژه بدون تغییر در محدوده پروژه می گردد. روش های اضطراری و عملیات موازی نمونه هایی از این روش فشرده سازی زمان هستند. هنگامی که پروژه از روش ها و ابزارهای مناسب استفاده کند، می توانیم با افزایش تعداد افراد و اضافه کاری، به سادگی برنامه زمانبندی را فشرده کنیم. در طول فشرده سازی برنامه زمانبندی، رابطه مشخصی بین فشرده سازی زمان و افزایش هزینه ها وجود دارد. بسیاری از افراد به روش های مختلف این رابطه را تخمین می زنند.

## یافته ها

برای نمودار PDM پروژه نرم افزاری نشان داده شده در شکل ۱، در مجموع ۱۲ کار گنجانده شده است، و مدت زمان هر کار و وابستگی های بین کارها در جدول ۱ نشان داده شده است. مدت زمان عملیات با اندازه گیری انجام آن فعالیت در ماه برابر می باشد.

جدول ۱. مدت زمان پروژه و وابستگی آن

No	Job code	Job name	Duration time	tight former tasks
1	A	Project plan	1	-
2	B	Requirement analysis	3	-
3	C	Requirement confirmation	1	B
4	D	Plan review	1	A, C
5	E	Summary design	2	D
6	F	Database design	3	D
7	G	Detailed design	4	F
8	H	Software coding	6	D, F
9	I	Integrated testing	3	H
10	J	Conform testing	2	I
11	K	Network integration	3	H
12	L	System testing	1	K

محاسبه زمان بر اساس ادغام PERT و CPM را می توان مستقیماً بر روی نمودار شبکه یا در قالب یک جدول انجام داد. ( Ren And Li, 2023 ) روش محاسبه جدول در اینجا اتخاذ شده است که مستقیماً بر روی نمودار شبکه محاسبه می شود و نتایج محاسبه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. جدول محاسبه زمان فعال

No	Job code	Duration time	Earliest start time	Earliest finish time	Latest finish time	Latest start time	Total time difference	Free time difference
1	A	1	0	1	4	3	3	3
2	B	3	0	3	3	0	0	0
3	C	1	3	4	4	3	0	0
4	D	1	4	5	5	4	0	0
5	E	2	5	7	12	10	5	5
6	F	3	5	8	8	5	0	0

7	G	4	8	12	12	8	0	0
8	H	6	12	18	18	12	0	0
9	I	3	18	21	21	18	0	0
10	J	2	21	23	23	21	0	0
11	K	3	18	21	22	19	1	1
12	L	1	21	22	23	22	1	1

برای پیش‌بینی مدت زمان و هزینه پروژه، پیش‌بینی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه محاسبه شدند. پیش‌بینی‌های اولیه برای مدت و هزینه پروژه که در جدول ۳ نشان داده شده‌اند، در بازه پیش‌بینی قرار دارند و اعتبار روش پیشنهادی را تأیید می‌کنند. علاوه بر این، درصد زیادی از فاصله پیش‌بینی برای هزینه پروژه کمتر از بودجه پروژه در خط پایه پروژه است. به عبارت دیگر، خط مرکزی هزینه برآوردی پروژه کمتر از کل بودجه پروژه است که نشان‌دهنده وضعیت مناسب پروژه از نظر هزینه است. همچنین بخش بزرگی از فاصله پیش‌بینی شده برای مدت زمان، بیشتر از مدت زمان تکمیل واقعی است که نشان می‌دهد پروژه احتمالاً بیشتر از مدت زمان پیش‌بینی شده طول خواهد کشید.

جدول ۳. اطلاعات مطالعه موردی در نقطه شروع

Zone Name	Zone Range
A	$(-\infty, LCL]$
B	$(LCL, \mu]$
C	$(\mu, UCL]$
D	$(UCL, +\infty)$

وضعیت هر پروژه را می‌توان به شش حالت طبقه بندی کرد (Kerzner, 2015). سپس، شش حالت برای عملکرد پروژه شامل حالات "عالی"، "خوب"، "عادی"، "احتیاط"، "بد" و "بحرانی" تعریف شده است، همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است:

جدول ۴. تعریف وضعیت مدل بر اساس مناطق شاخص انتخاب شده

State	$Ln CPI^{-1}$	$Ln SPI(t)^{-1}$
Perfect	A	A
Good	B	A
	A	B
Normal	B	B
Caution	C	A
	A	C
Bad	C	B
	B	C
Critical	At least one D	

بر اساس حالت های تعریف شده، بهترین برنامه عملیاتی برای هر مرحله پروژه با استفاده از نظرات کارشناسان به دست می‌آید.

## بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مسائل بحرانی در پروژه‌ها، محاسبه عملکرد پروژه است. مطالعات متعددی در مورد پیش‌بینی مدت زمان و هزینه پروژه انجام شده که مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی آینده پروژه پیشنهاد داده‌اند. اما این مدل‌ها معمولاً مرحله پروژه را در نظر نمی‌گیرند و از رویکردهای ثابت برای پیش‌بینی وضعیت نهایی استفاده می‌کنند، در حالی که پروژه‌ها دارای ریسک‌های فراوان و ماهیت غیرتکراری هستند. در این مقاله، یک روش برای پیش‌بینی مدت زمان و هزینه تکمیل پروژه با استفاده از مدیریت ارزش کسب‌شده توسعه یافته است. این مدل دقت پیش‌بینی را با استفاده از نمودارهای کنترلی افزایش می‌دهد و بهترین برنامه عملیاتی را بر اساس وضعیت فعلی پروژه به صورت پویا ارائه می‌دهد. با این حال، یکی از محدودیت‌های این پژوهش این است که بهترین برنامه عملیاتی با استفاده از نظرات کارشناسان تعیین می‌شود و تحلیل حساسیت نتایج امکان‌پذیر نیست.

بهبود مهارت‌های دیجیتال معلمان از طریق آموزش تفکر مدیریت پروژه، اهمیت زیادی دارد. این مقاله مفاهیم و فرآیندهای اساسی مدیریت زمانبندی پروژه را توضیح داده و با استفاده از مورد عملی پروژه نگارش کتاب درسی، مراحل مختلف مدیریت پروژه را به تفصیل بیان کرده است. همچنین، ایجاد یک زمانبندی معقول برای پروژه‌های نرم‌افزاری کلید موفقیت آن‌هاست و ترکیب روش‌های PERT و CPM به عنوان روش‌های پرکاربرد، راه‌حل کاملی برای توسعه ابزارهای زمانبندی پروژه‌های نرم‌افزاری ارائه می‌دهد که می‌تواند بهره‌وری کار را افزایش داده و احتمال شکست را کاهش دهد.

## منابع

- [1] Yongchang Rena, and Jun Li, Research on Software Project Schedule Planning Technology Based on the Integration of PERT and CPM, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.11.029>
- [2] Ting Chena, Haiyun Wang, Application of Project Schedule Management in Teaching Field, 2023, <https://francispress.com/uploads/papers/dOS30LELg3Bvyb1f4B86Z39ITXiFYH7ApcCmsXII.pdf>
- [3] Sajad Soltana and Maryam Ashrafi, Predicting project duration and cost, and selecting the best action plan using statistical methods for earned value management, 2020, <http://dx.doi.org/10.5267/j.jpm.2020.3.002>
- [4] Baqerin, M. H., Shafahi, Y., & Kashani, H. (2016). Application of Weibull analysis to evaluate and forecast schedule performance in repetitive projects. Journal of Construction Engineering and Management, 142(2), 04015058.
- [5] Couto Julia Colleoni, Kroll Josiane, Ruiz Duncan Dubugras, Prikladnicki Rafael. Extending the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) for Data Visualization in Software Project Management. SN Computer Science, 2022,3(4): 6-15.
- [6] Zhang Dongmei. (2017) Research on service innovation of university library based on the perspective of think tank. Technology and Innovation, (21): 3