

بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت با به‌کارگیری رویکرد ترکیبی پویایی سیستم و دیمتل

شاهین دیربان* (استادیار)

دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان

مصطفی خانزادی (دانشیار)

مجید عبداللهی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت

مهندسی عمران شریف، پاییز ۱۳۹۹ (۱۳۹۹)
دوری ۲ - ۳۶، شماره ۱/۳، ص. ۲۸-۱۳

تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت، یک چالش بزرگ در کشورهای در حال توسعه است. هدف از انجام این پژوهش شناسایی مهم‌ترین ساختارهای مرتبط با تخطی هزینه است. به این منظور پس از شناسایی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه از طریق مرور ادبیات، تعامل بین این عوامل با استفاده از روش پویایی سیستم توسعه داده شد. نمودار علت و معلولی حاصل، به منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر از تخطی هزینه با تکنیک دیمتل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کمبود نقدینگی، فقدان پرسنل فنی و متخصص و دوبارمکاری به ترتیب بیشترین تأثیر را بر تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت دارند. همچنین مدت پروژه، نقدینگی و بهره‌وری کارکنان به ترتیب دارای بیشترین تأثیرپذیری از تخطی هزینه هستند. علاوه بر این، عوامل موجود در زیرسیستم نیروی کار با ۳۶/۳ درصد، بالاسری با ۲۴/۴ درصد، مصالح با ۲۱/۷ درصد و زیرسیستم تجهیزات با ۱۷/۶ درصد، بیشترین اثر را بر تخطی هزینه دارند.

واژگان کلیدی: پویایی سیستم، نمودار علت و معلولی، تکنیک دیمتل، تخطی هزینه، مدیریت هزینه.

sh.dabirian@au.ac.ir
khanzadi@iust.ac.ir
majid.abdollahi1994@gmail.com

۱. مقدمه

پروژه‌های ساخت در محدوده‌ی بودجه‌ی برنامه‌ریزی شده بسیار مهم است، اما هنوز هم بسیاری از پروژه‌های ساخت با هزینه‌ی بیشتر از مقدار برنامه‌ریزی شده به پایان می‌رسند.

فلاچرگ و همکاران نشان دادند که تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت یک چالش بزرگ است، و از هر ۱۰ پروژه‌ی ساختمانی تعداد ۹ پروژه با افزایش هزینه مواجه می‌شوند.^[۱] علاوه بر این، افزایش هزینه ممکن است تا ۱۸۳٪ بیشتر از بودجه‌ی پیش‌بینی شده باشد.^[۲-۴]

صنعت ساخت‌وساز در کشورهای توسعه یافته، از جمله انگلستان، نیز با افزایش هزینه همراه است زیرا حدود یک سوم کارفرمایان از افزایش هزینه‌ی پروژه‌های ساختمانی شاکی‌اند.^[۵] علاوه بر این، کارفرمایان گزارش داده‌اند که نزدیک به ۶۰ درصد پروژه‌ها هزینه‌ی بیشتر از بودجه‌ی برنامه‌ریزی شده داشته است؛ این موضوع در بریتانیا به مشکلی رایج تبدیل شده است.^[۱] تخطی هزینه و تأخیر در پروژه‌های ساخت، تأثیرات قابل توجهی بر عملکرد پروژه دارند و مطمئناً باعث نارضایتی قابل توجه مصرف‌کنندگان و صاحبان پروژه می‌شود.^[۶] بالاترین اولویت ذی‌نفعان پروژه هزینه است که به عنوان یک شاخص خوب و قابل اندازه‌گیری برای موفقیت و عملکرد

یکی از معیارهای موفقیت در پروژه‌های ساخت، تکمیل پروژه با هزینه‌ی کم‌تر یا برابر با مقدار بودجه‌بندی شده است. به عبارت دیگر، تأمین یک پروژه در محدوده‌ی بودجه‌ی پیش‌بینی شده، یکی از اهداف اصلی در هر ساخت‌وساز است. با این حال، هزینه‌ی اکثر پروژه‌های ساخت‌وساز بیشتر از هزینه‌ی پیش‌بینی شده است.^[۱] عدم توانایی صنعت ساخت‌وساز در تکمیل پروژه‌ها طبق زمان و بودجه‌ی برنامه‌ریزی شده، نگرانی‌های زیادی به وجود آورده است. تخطی هزینه را می‌توان تعدی هزینه از مقدار پیش‌بینی شده یا تعدی هزینه از مقدار مقرر در پیمان که مورد توافق طرفین است تعریف کرد. تخطی هزینه یک مشکل رایج در سراسر جهان است، اما در کشورهای در حال توسعه به یک چالش بزرگ تبدیل شده است. صنعت ساخت‌وساز اهمیت قابل توجهی در توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه دارد.^[۱]

از آن‌جا که صنعت ساخت‌وساز در ایران همچنان در حال رشد است، تکمیل

* نویسنده مسؤل

تاریخ: دریافت ۱۵/۱۳۹۷/۸، اصلاحیه ۲۸/۱۳۹۸/۲، پذیرش ۳۱/۲/۱۳۹۸.

DOI:10.24200/J30.2019.51915.2448

پروژه محسوب می‌شود. علاوه بر این، رضایت مشتری مهم‌ترین عامل ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد پیمانکار است.^[۹] مطالعات انجام شده در ایران در رابطه با تخطی هزینه‌ی پروژه‌های ساخت نشان می‌دهد که عدم تخمین دقیق هزینه‌ها، برنامه‌ریزی نامناسب، تغییرات متعدد در طرح‌ها، فقدان پرسنل فنی و متخصص، هزینه‌ی زیاد ماشین‌آلات و نیروی کار و هزینه‌ی زیاد مواد اولیه از اصلی‌ترین علت‌های تخطی هزینه‌اند.^[۱۰]

همچنین پرجمی و شعار.^[۱۱] در مطالعه‌ی تأخیر در تکمیل پروژه‌های ساخت نشان دادند که عوامل مربوط به نیروی کار از مهم‌ترین عوامل مرتبط با تأخیر در تکمیل پروژه‌های ساخت در کشور ایران هستند.

هدف پژوهش حاضر، تبیین مدلی ترکیبی با استفاده از روش‌های پویایی سیستم و روش تصمیم‌گیری آزمون و ارزیابی آزمایشگاهی^۱ (دیمتل)^۲، به منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر از تخطی هزینه و نیز درک بهتر ساختار پیچیده‌ی عوامل مختلف در تعامل با تخطی هزینه است. در واقع، تعامل و ارتباط عوامل با روش پویایی سیستم و با روابط منطقی مشخص می‌شود. خروجی این بخش، نمودار علت و معلولی بین عوامل است که منجر به شناسایی ساختارهای مرتبط با تخطی هزینه می‌شود. از طرفی میزان اثرگذاری و اثرپذیری نهایی هر یک از عوامل از تخطی هزینه، از طریق تکنیک دیمتل محاسبه می‌شود و بر پایه‌ی آن، مهم‌ترین ساختارهای تأثیرگذار و تأثیرپذیر از تخطی هزینه شناسایی می‌شود.

۲. مرور ادبیات

در سال‌های اخیر به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه، محققین در کشورهای مختلف مطالعات زیادی انجام داده‌اند. از آنجا که عوامل شناسایی شده در این بخش در تعیین مهم‌ترین عوامل صنعت ساخت‌وساز در ایران کاربرد دارد، اغلب از تحقیقات انجام شده در کشورهای در حال توسعه استفاده شده است.

اوکیال و آتیکو^[۱۲] به شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش هزینه‌ی پروژه‌های ساخت در کشور نیجریه پرداختند و نشان دادند که کمبود مصالح، نوسان قیمت، نحوه‌ی تأمین مالی، نحوه‌ی پرداخت کارهای تمام شده و مدیریت ناصحیح قرارداد از مهم‌ترین عواملی هستند که موجب افزایش هزینه در پروژه‌های عمرانی در کشور نیجریه می‌شود. کامینگ و همکاران^[۱۳] نیز از طریق مصاحبه با مدیران پروژه، عوامل مؤثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساخت سازه‌های بلندمرتبه را بر اساس اهمیت و شدت وقوع در کشور اندونزی رتبه‌بندی کردند؛ آنها افزایش هزینه‌ی مصالح، تخمین ناصحیح هزینه و مقدار کار، و پیچیدگی پروژه را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه معرفی کردند. جکسون^[۱۴] با تمرکز بر پروژه‌های ساختمانی در بریتانیا و با استفاده از پرسش‌نامه، عوامل مؤثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی را شناسایی و رتبه‌بندی کرده است. طبق نتایج تحقیق این پژوهش‌گر تغییر سفارشات در زمان ساخت توسط کارفرما، کم‌بود مطالعات اولیه، عدم شناخت کافی از محل پروژه و تخمین ناصحیح هزینه و مقدار کار از جمله عوامل مؤثر بر افزایش هزینه‌ی پروژه‌های ساخت در بریتانیا هستند. کریدی^[۱۵] با مطالعه‌ی عوامل ریسک که به افزایش هزینه در پروژه‌های ساخت بزرگراه در استرالیا منجر می‌شود، تغییر سفارشات در زمان ساخت توسط کارفرما، تغییر طرح توسط مشاور، تخمین ناصحیح هزینه و مقدار کار، دوباره‌کاری و کیفیت پایین مصالح را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل معرفی کرد. فریمپونگ و همکاران^[۱۶] از طریق مصاحبه با متخصصین و خبرگانی که از بخش‌های مختلف مانند کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران انتخاب شده بودند، عوامل

مؤثر بر تأخیر و تخطی هزینه در پروژه‌های زیرزمینی در غنا را مورد بررسی قرار دادند و پس از تعیین اهمیت نسبی هر یک از عوامل، آن‌ها را رتبه‌بندی کردند. بر این اساس مدیریت ضعیف پیمان (مانند تأخیر در پرداخت‌ها)، مشکلات در تأمین مصالح، نقص در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی و تخمین ناصحیح هزینه‌ی مصالح به‌عنوان مهم‌ترین عوامل شناسایی شد. محققین دیگری مانند کوشکی و همکاران^[۱۷] از هر و همکاران^[۱۸] کالیبا و همکاران^[۱۹] انشاسی و همکاران^[۲۰] نیازی^[۲۱] و آدام و همکاران^[۲۲] عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در انواع پروژه‌های عمرانی را به ترتیب در کشورهای کویت، پاکستان، زامبیا، فلسطین، افغانستان و سوئد مورد بررسی قرار دادند.

از بین تمام عواملی که توسط محققین مختلف به‌عنوان علل تخطی هزینه معرفی شد، ۳۷ عامل مهم انتخاب و پس از چند مرحله ویرایش و بازبینی در قالب ۴ گروه شامل نیروی کار، مصالح، تجهیزات و بالاسری دسته‌بندی شدند. جدول ۱ معرف این ۳۷ عامل به همراه منبع هر کدام است. علت رده‌بندی عوامل به چهار گروه نیروی کار، مصالح، تجهیزات و بالاسری آن است که در جریان کار پروژه این چهار گروه هزینه‌ها هستند و افزایش هزینه در هر یک از این گروه‌ها موجب تخطی هزینه‌ی کل پروژه می‌شود. لذا عوامل مربوط به مراحل طراحی و مطالعات اولیه در این پژوهش دیده نشده است. همان‌طور که در جدول ۱ هم مشخص است، برخی از عوامل مانند نقدینگی در بین گروه‌ها مشترک است و از شماره‌گذاری مجدد آن‌ها جلوگیری شده است.

بررسی تحقیقات قبلی نشان داده که با وجود این که عوامل اغلب در هم آمیخته‌اند و با یکدیگر تعامل دارند، با این حال اکثر مطالعات عوامل را به‌طور مستقل بررسی کرده‌اند. مطالعات انجام شده در جهت شناسایی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه ارزشمندند، اما در رابطه با چگونگی تعامل عوامل جزئیاتی ارائه نشده است. از آنجا که پروژه‌های عمرانی، سیستم‌های پویای پیچیده‌ی هستند بنابراین بدون نگرش سیستمی، درک کامل و همه‌جانبه‌ی رفتار اجزای مختلف پروژه ممکن نیست. به‌عبارت‌دیگر، برای مدیریت صحیح و بهبود عملکرد پروژه‌ها به‌ویژه عملکرد مالی، لحاظ کردن پویایی‌ها و بازخورد بین عناصر لازم و ضروری است.

۳. روش تحقیق

روش‌های مختلفی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته که به‌طور خلاصه در ادامه توضیح داده می‌شود:

۱.۳. رویکرد پویایی سیستم

رویکرد پویایی سیستم یکی از جنبه‌های نظریه سیستم است که برای تجزیه و تحلیل و درک سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود. به‌طور کلی، پویایی سیستم برای مدیریت و شبیه‌سازی فرایندها با دو ویژگی اصلی مفید است.^[۲۳]

۱. فرایندهای شامل تغییرات در طول زمان؛

۲. فرایندهای دارای بازخورد داخلی (فرایندهایی که با تغییر هر یک از متغیرها، سایر متغیرها تغییر حالت می‌دهند).

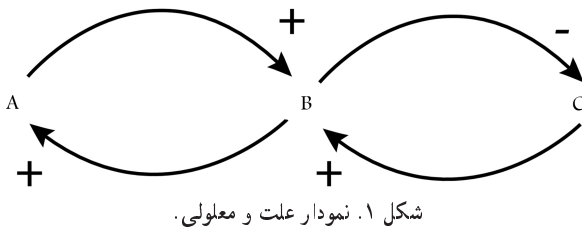
علت استفاده از روش پویایی سیستم در این پژوهش این است که بحث تخطی هزینه دقیقاً دو ویژگی فوق را در خود دارد زیرا اولاً تمام متغیرهای مرتبط با تخطی هزینه مثل نقدینگی، قیمت مصالح، تورم بازار یا حتی انگیزش و بهره‌وری کارکنان

جدول ۱. دسته‌بندی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه.

گروه	ردیف	عوامل	مرجع															
			[۲۲]	[۲۱]	[۲۰]	[۱۹]	[۱۸]	[۱۷]	[۱۵]	[۱۶]	[۱۴]	[۱۳]	[۱۲]					
نیروی کار	۱	تأخیر در پرداخت حقوق کارکنان		*	*					*								
	۲	مشکلات اضافه‌کاری		*			*	*	*				*					
	۳	انگیزش ضعیف کارکنان		*			*	*	*									
	۴	تعارض بین کارگران		*			*											
	۵	بهره‌وری پایین کارکنان		*			*				*							
	۶	کمبود پرسنل فنی و متخصص		*			*			*								
	۷	خستگی کارکنان			*													
	۸	نرخ انجام کار پایین کارکنان			*													
	۹	فشار زمانبندی								*								
	۱۰	خطا		*			*		*	*								
	۱۱	دوباره کاری	*						*									
	۱۲	هزینه‌ی بالای کارکنان		*			*					*						
	۱۳	کمبود نقدینگی							*	*								
مصالح	۱۴	تورم بازار		*		*			*	*	*							
	۱۵	نوسان قیمت			*		*	*	*			*						
	۱۶	عرضه کم مصالح در بازار					*	*	*	*								
	۱۷	تحریم		*	*			*	*	*	*							
	۱۸	کمبود مصالح در بازار		*	*		*	*	*	*	*							
	۱۹	قیمت بالای مصالح	*															
	۲۰	کیفیت پایین مصالح		*				*										
	۲۱	هزینه‌ی بالای مصالح		*	*		*	*	*	*	*							
	۲۲	اتلاف مصالح		*				*										
	-	کمبود نقدینگی							*	*								
	۲۳	اعتبار پایین شرکت			*													
تجهیزات	۲۴	خرابی تجهیزات		*					*	*								
	۲۵	بهره‌وری پایین تجهیزات		*														
	۲۶	کمبود تجهیزات ساخت		*	*				*									
	۲۷	نرخ انجام کار پایین تجهیزات		*	*													
	۲۸	افزایش مدت پروژه	*															
	۲۹	هزینه‌ی بالای ماشین‌آلات				*												
	-	کمبود نقدینگی							*	*								

ادامه‌ی جدول ۱.

گروه	ردیف	عوامل	مرجع															
			[۲۳]	[۲۱]	[۲۰]	[۱۹]	[۱۸]	[۱۷]	[۱۵]	[۱۶]	[۱۴]	[۱۳]						
بالاسری	-	اعتبار پایین شرکت			*													
	۳۰	مشکلات مالی پیمانکاران		*	*		*			*								
	۳۱	پرداخت جریمه توسط پیمانکاران		*			*											
	۳۲	عدم دریافت پیش - پرداخت توسط پیمانکار	*															
	۳۳	تأخیر در تجهیز سایت		*	*		*					*						
	۳۴	شرایط آب و هوایی نامناسب	*			*	*		*	*	*	*						
	-	کمبود نقدینگی								*	*							
	-	افزایش مدت پروژه	*															
	۳۵	تأخیر در پرداخت هزینه‌ی مصالح	*															
	۳۶	تأخیر در تحویل مصالح		*			*		*	*	*							
۳۷	افزایش هزینه‌های بالاسری		*	*														



افزایش می‌یابد. به همین ترتیب حلقه‌های مثبت (تقویت‌کننده) باعث افزایش و تشدید یک پارامتر و حلقه‌های منفی (متعادل‌کننده) باعث کاهش و تعدیل پارامتری دیگر می‌شود. مطابق قوانین پویایی سیستم، وجود یک حلقه‌ی متعادل‌کننده در کنار حلقه‌های تقویت‌کننده الزامی است.^[۲۴]

در این تحقیق از نتایج حاصل از نمودار علت - معلولی به منظور تعیین مهم‌ترین ساختارهای تأثیرگذار و تأثیرپذیر از تخطی هزینه با تکیه بر قضاوت کارشناسان و بهره‌گیری از روش دیمتل استفاده می‌شود.

۲.۳. تکنیک دیمتل

تکنیک دیمتل یکی از انواع روش‌های تصمیم‌گیری گروهی بر اساس مقایسه‌های زوجی و قضاوت کارشناسان است. این تکنیک بر اساس دیاگرام بنا شده و با بهره‌مندی از قضاوت کارشناسان در شناسایی عوامل موجود در یک سیستم و به‌کارگیری اصول و نظریه‌ی گراف‌ها، به استخراج روابط تأثیرگذار و تأثیرپذیر می‌پردازد، به‌طوری‌که شدت اثر روابط مذکور را به صورت امتیاز عددی معین می‌کند.

در طول زمان تغییر می‌کنند، ثانیاً روابط و بازخوردهای پویا بین متغیرها وجود دارد. مثلاً تغییرات انگیزش کارکنان موجب تغییر میزان بهره‌وری آنان می‌شود.

روش پویایی سیستم برای نظریه مبتنی شده است که برای شناخت رفتار یک سیستم، باید ساختار آن را شناخت.^[۲۵] به عنوان مثال اگر بخواهیم رفتار پروژه‌های عمرانی را، که سیستم‌های پویایی پیچیده‌ی هستند، در رابطه با تخطی هزینه بشناسیم (چرا تخطی هزینه رخ می‌دهد؟ چگونه می‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد؟ پس از وقوع تخطی هزینه چه سیاست‌هایی باید اعمال کرد؟)، باید تمام ساختارهایی که منجر به تخطی هزینه می‌شوند را شناسایی کنیم.

یکی از ابزارهای اصلی در توسعه‌ی ساختارها در روش پویایی سیستم، نمودار علت و معلولی است. نمودارهای علت و معلولی^۳ یا نمودارهای علی حلقوی که به اختصار CLD نامیده می‌شوند، یکی از ابزارهای مهم برای نشان دادن ساختار بازخورد در سیستم‌هاست. هر CLD شامل متغیرهایی است که با کمان به هم مرتبط شده‌اند تا تأثیرات علی بین متغیرها را نشان دهند. در نمودار علت و معلولی، متغیرها با پیوندهای علت و معلولی (با پیکان نمایش داده می‌شوند) به هم مرتبط می‌شوند. به هر پیوند علت و معلولی یک قطبیت به صورت مثبت (+) یا منفی (-) تخصیص می‌یابد تا چگونگی تغییر متغیر وابسته را هنگامی که متغیر مستقل تغییر می‌کند، نشان دهد.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، وجود پیوند مثبت بدین معناست که اگر علت (مثلاً A)، افزایش یابد، معلول نیز (B) افزایش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد، معلول نیز کاهش می‌یابد. وجود پیوند منفی، بدان معناست که اگر علت (مثلاً B) افزایش یابد، معلول (مثلاً C) کاهش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد، معلول

به عبارت دیگر هرچه مقدار $(R + J)$ بیشتر باشد آن عامل تعامل بیشتری با سایر عناصر سیستم دارد؛ لذا وزن (اهمیت) عامل در سیستم بیشتر است.

از طرفی بردار ارتباط $(R - J)$ برداری عمودی است که مقدار نهایی تأثیرگذاری هر عامل بر مجموعه عناصر دیگر سیستم را نشان می‌دهد. اگر برای هر عامل، $(R - J) < 0$ آن‌گاه آن عامل یک تأثیرگذار قطعی است و یک متغیر علت محسوب می‌شود و اگر $(R - J) > 0$ آن‌گاه آن عامل یک تأثیرپذیر قطعی است و یک متغیر معلول محسوب می‌شود.

۶. رسم نمودار علی عوامل

نمودار علی عوامل براساس ترسیم زوج مرتب‌های $(R + J, R - J)$ به دست می‌آید که درون‌بینی با ارزشی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. محور افقی این نمودار مقدار $(R + J)$ و محور عمودی آن مقدار $(R - J)$ برای هر عامل است.

۳.۳. ترکیب پویایی سیستم - دیمتل

پس از شناسایی عوامل مهم موثر بر تخطی هزینه، نمودار علت و معلولی و تعامل بین این عوامل با استفاده از روش پویایی سیستم توسعه داده می‌شود. سپس برای تعیین نوع عوامل (علی یا معلولی) و میزان اثرگذاری و اثرپذیری و همچنین میزان تعامل هر یک از عوامل موجود در نمودار علت و معلولی با تخطی هزینه از روش دیمتل استفاده می‌شود.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی به مراحل مربوط به روش دیمتل اشاره شد، ابتدا میزان اثرگذاری هر عامل بر سایر عوامل با نظر خبرگان مشخص می‌شود. با محاسبه میانگین نظرات خبرگان، ماتریس تأثیرات مستقیم محاسبه می‌شود. در گام بعدی، ماتریس محاسبه شده از مرحله قبل، نرمال‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از فرمول ذکر شده، ماتریس روابط کل محاسبه می‌شود. در پایان مقادیر $(R + J)$ و $(R - J)$ برای هر عامل محاسبه می‌شود و نتایج و نمودارها مورد بحث قرار می‌گیرد و مهم‌ترین حلقه‌ی اثرگذار بر تخطی هزینه شناسایی می‌شود.

۴. توسعه‌ی نمودار علت و معلولی

پس از شناسایی عوامل موثر بر تخطی هزینه، عوامل مهم انتخاب و پس از چند مرحله ویرایش و بازبینی، مطابق جدول ۱ و در قالب چهار زیرسیستم شامل نیروی کار (۱۳ عامل)، مصالح (۱۱ عامل)، تجهیزات (۷ عامل) و بالاسری (۱۱ عامل)، در جریان کار پروژه دسته‌بندی شد. در شکل ۲ مدل کلی نمودار علت - معلولی این عوامل نشان داده شده است. همان‌طور که اشاره شد، نمودار علت و معلولی در این پژوهش فقط برای جریان کار پروژه توسعه داده شده و عوامل مربوط به مراحل طراحی و مطالعات اولیه در این مدل دیده نشده است. به همین منظور از چهار زیرسیستم که در جریان کار پروژه باعث تولید هزینه می‌شوند (نیروی کار، مصالح، تجهیزات و بالاسری) استفاده شده که در ادامه به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

۱.۴. نیروی کار

مطابق جدول ۱، این زیرسیستم دارای ۱۳ عامل است که منجر به تخطی هزینه می‌شود. همان‌طور که در نمودار علت و معلولی نشان داده شده، کمبود نقدینگی باعث می‌شود حقوق کارکنان به‌موقع پرداخت نشود و در نتیجه موجب کاهش انگیزش کارکنان می‌شود. از طرفی تعارض بین کارکنان نیز موجب کاهش انگیزش کارکنان

تکنیک دیمتل که اولین بار آن را دانشمندان آمریکایی در بین سال‌های ۱۹۲۶ تا ۱۹۷۲ ارائه کردند، روشی برای حل مسائل پیچیده است.^[۲۶] این تکنیک براساس نظریه‌ی گراف ساخته شده که قادر است مسائل را با روش ساده حل کند.

هدف اصلی از انجام روش دیمتل کمک به تصمیم‌گیرندگان و مدیران برای شناسایی روابط بین معیارهای مهم و روشن ساختن اجزای ضروری یک مشکل موجود است.^[۲۷] روش دیمتل مدیران را قادر می‌سازد مشکلات را به‌صورت بصری حل کنند و متغیرهای وابسته را به‌منظور بهبود درک روابط علی و معلولی در میان این متغیرها، به گروه‌های علت و معلول تقسیم کنند.^[۲۸] مراحل انجام روش دیمتل عبارت است از:^[۲۶]

۱. شناسایی عوامل مؤثر بر مسئله

در گام نخست، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مسئله از طریق مرور ادبیات و نظر کارشناسان، شناسایی می‌شود.

۲. محاسبه‌ی ماتریس تأثیرات مستقیم (ماتریس X)

به‌منظور کمی‌سازی اثر عوامل مختلف بر سایر عوامل، یک ماتریس مربعی $n \times n$ $X = (x_{ij})$ (م، تعداد عوامل موجود) ساخته می‌شود که در آن درایه‌ی x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$) معرف میزان تأثیر عامل i ام بر عامل j ام است. میزان تأثیر هر عامل بر سایر عوامل، با پنج معیار تأثیر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بدون تأثیر به ترتیب با نمرات ۴، ۳، ۲، ۱ و ۰ مشخص می‌شود؛ به این ترتیب که اگر عامل i بر عامل j هیچ تأثیری نداشته باشد، مقدار درایه‌ی x_{ij} صفر خواهد شد. همچنین اگر میزان تأثیر عامل i بر عامل j ، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد باشد، مقدار درایه‌ی x_{ij} به ترتیب اعداد ۱، ۲، ۳ و ۴ خواهد بود. میزان تأثیر هر عامل بر سایر عوامل، بر اساس نظرات خبرگان و از طریق توزیع و جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، مشخص می‌شود. سپس با استفاده از میانگین حسابی نظرات خبرگان، ماتریس تأثیرات مستقیم محاسبه می‌شود.

۳. نرمال‌سازی ماتریس تأثیرات مستقیم

پس از محاسبه‌ی ماتریس تأثیرات مستقیم (ماتریس X)، ماتریس نرمال (ماتریس G) از این رابطه محاسبه می‌شود:

$$G = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n x_{ij}} X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

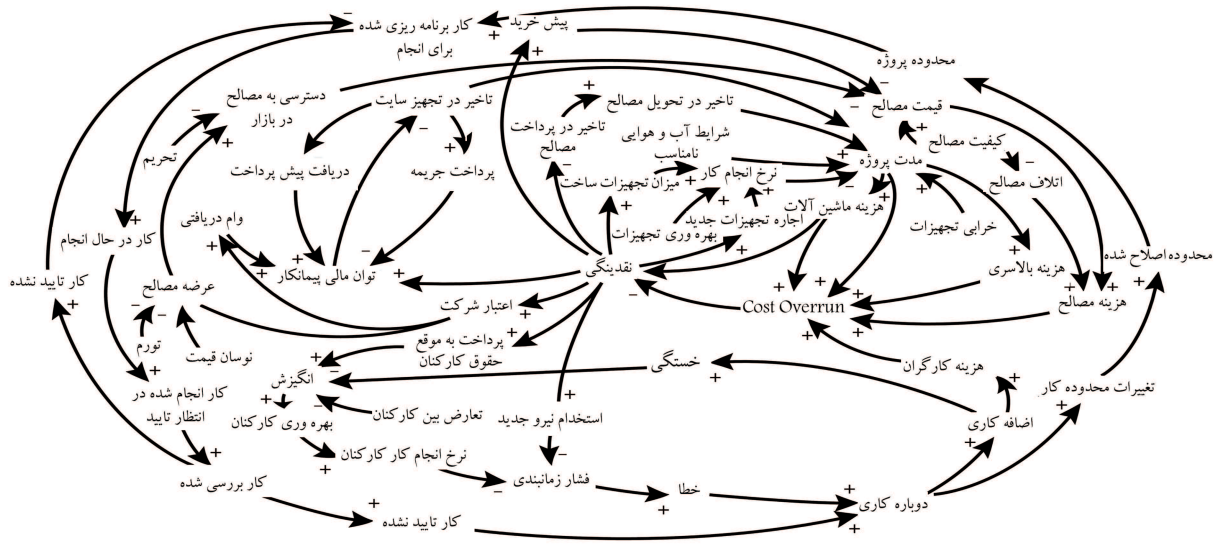
در واقع به‌منظور استانداردسازی ماتریس تأثیرات مستقیم، تمام درایه‌های ماتریس تأثیرات مستقیم بر بزرگ‌ترین مقدار مجموع هر سطر تقسیم می‌شود.

۴. محاسبه‌ی ماتریس روابط کل

پس از محاسبه‌ی ماتریس نرمال (ماتریس G)، ماتریس روابط کل (ماتریس Z) از طریق فرمول $Z = G(I - G)^{-1}$ محاسبه می‌شود که در آن G بیان‌گر ماتریس نرمال و I بیان‌گر ماتریس همانی است. ماتریس روابط کل در واقع تمام روابط مستقیم و غیرمستقیم بین عوامل را مشخص می‌کند.

۵. محاسبه‌ی مقادیر $(R + J)$ و $(R - J)$

پس از محاسبه‌ی ماتریس روابط کل، مجموع هر سطر (R) نشان‌دهنده‌ی میزان اثرگذاری آن عامل بر کل سیستم خواهد بود. همچنین مجموع هر ستون (J) میزان اثرپذیری آن عامل از کل سیستم را نشان می‌دهد. بردار برتری $(R + J)$ که یک بردار افقی بوده، میزان تأثیر و تأثر عامل مورد نظر در سیستم است.



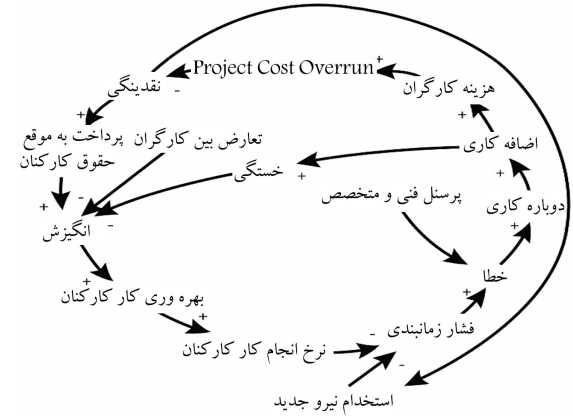
شکل ۲. نمودار علت معلولی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه.

۲.۴. مصالح

مطابق جدول ۱ این زیرسیستم دارای ۱۱ عامل است که منجر به تخطی هزینه می‌شود. با توجه به نمودار علت و معلولی، کمبود نقدینگی و منابع مالی موجب کاهش اعتبار شرکت می‌شوند. یکی از پیامدهای کاهش اعتبار هر شرکت عدم رغبت تولیدکنندگان و فروشندگان به همکاری با شرکت است که موجب می‌شود عرضه‌ی مصالح برای شرکت کاهش یابد. همچنین نوسان قیمت نیز باعث می‌شود تا برخی از تولیدکنندگان، محصولات خود را در بازار عرضه نکنند. کاهش عرضه‌ی مصالح، دسترسی به مصالح در بازار را کاهش می‌دهد. همچنین در برخی موارد وجود تحریم‌ها نیز دسترسی به مصالح را کاهش می‌دهد. در صورت کاهش دسترسی به هر محصولی قیمت آن افزایش می‌یابد و موجب افزایش هزینه‌ها و تخطی هزینه می‌شود. در اثر افزایش هزینه‌ها، نقدینگی کاهش می‌یابد و این حلقه نیز به همین ترتیب همواره موجب تخطی می‌شود.

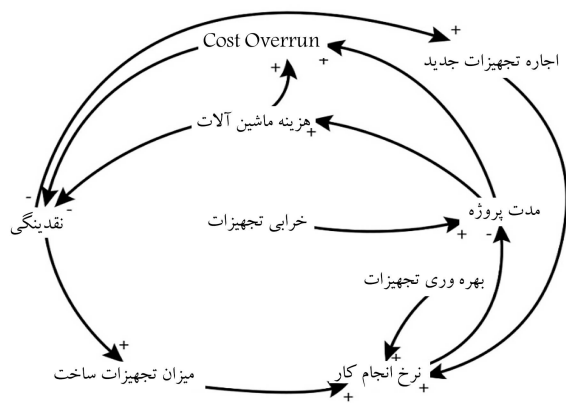
قیمت مصالح علاوه بر موارد گفته شده به کیفیت آن‌ها نیز بستگی دارد. هرچه کیفیت مصالح بالاتر باشد قیمت آن‌ها نیز بیشتر می‌شود؛ از طرف دیگر کیفیت بالای مصالح باعث جلوگیری از اتلاف و خرابی مصالح می‌شود و نیازی به تأمین مجدد مصالح نیست که خود از افزایش هزینه‌ها جلوگیری می‌کند.

لازم به ذکر است که قیمت و هزینه دو مفهوم متفاوت از price و cost هستند. به عنوان مثال اگر سه گزینه برای یک محصول با مشخصات فنی و کیفیت‌های متفاوت موجود باشد، هرکدام قیمت متفاوت خواهد داشت، اما خریدار با توجه به نیاز خود یک محصول را انتخاب و هزینه را پرداخت می‌کند. در واقع مرز بین قیمت و هزینه همان کیفیت یا مشخصات فنی است. به منظور ایجاد تعادل و جلوگیری از تخطی هزینه، سیاست پیش خرید مصالح می‌تواند باعث کاهش قیمت و در نتیجه کاهش هزینه‌ها شود. عامل پیش خرید مصالح به عنوان یک سیاست متعادل‌کننده و به دلیل رعایت قوانین پویایی سیستم (وجود حلقه‌ی متعادل‌کننده در کنار حلقه‌ی تقویت‌کننده) به کار گرفته شده است و بنابراین جزء عوامل ایجادکننده تخطی هزینه محسوب نمی‌شود. شکل ۴ نشان‌دهنده‌ی روابط درونی و تعامل بین این عوامل است.

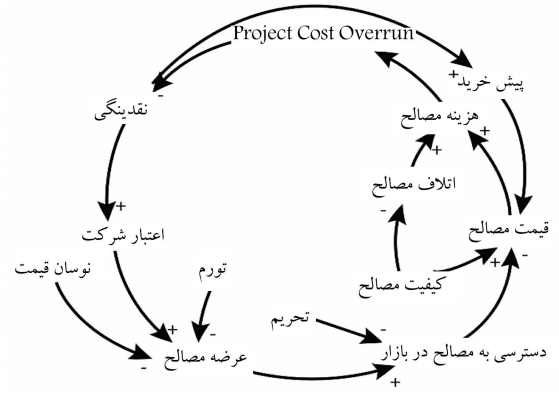


شکل ۳. تعامل بین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در گروه نیروی کار.

و نهایتاً کاهش بهره‌وری آنان می‌شود. با کم شدن بهره‌وری کارکنان، نرخ انجام کار آن‌ها نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه فشار ناشی از زمان‌بندی موجب افزایش خطا می‌شود؛ در اثر افزایش خطا، دوباره کاری نیز افزایش می‌یابد. همچنین در بعضی موارد فقدان پرسنل فنی و متخصص می‌تواند باعث بروز خطا شود. در اثر افزایش دوباره کاری، اضافه کاری نیز افزایش می‌یابد. افزایش اضافه کاری از طرفی باعث خستگی کارکنان می‌شود که یک عامل مهم در کاهش انگیزش است. از طرف دیگر در اثر افزایش اضافه کاری، هزینه‌ی کارکنان افزایش می‌یابد؛ با افزایش هزینه‌ها، نقدینگی کاهش می‌یابد و این حلقه به همین ترتیب موجب تخطی هزینه می‌شود. به منظور ایجاد تعادل و جلوگیری از تخطی هزینه، استخدام نیروی جدید می‌تواند باعث کاهش فشار زمان‌بندی و در نتیجه کاهش خطا، دوباره کاری، اضافه کاری و نهایتاً کاهش هزینه‌ها شود. عامل استخدام نیروی جدید به عنوان یک سیاست متعادل‌کننده و به دلیل رعایت قوانین پویایی سیستم (وجود حلقه‌ی متعادل‌کننده در کنار حلقه‌ی تقویت‌کننده) به کار گرفته شده است و بنابراین جزء عوامل موجب تخطی هزینه محسوب نمی‌شود. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی روابط درونی و تعامل بین این عوامل است.



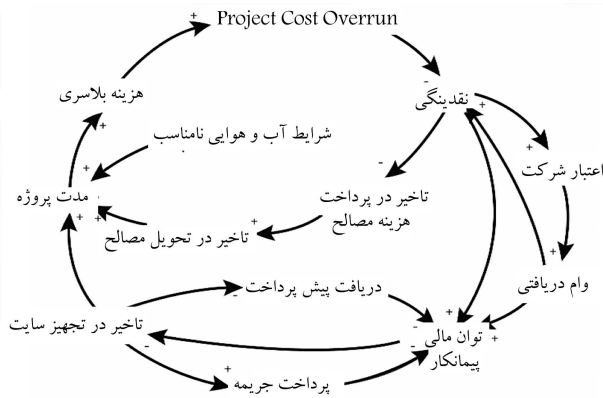
شکل ۵. تعامل بین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در گروه تجهیزات.



شکل ۴. تعامل بین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در گروه مصالح.

۳.۴. تجهیزات

مطابق جدول ۱ این زیرسیستم دارای هفت عامل است که منجر به تخطی هزینه می‌شود. با توجه به نمودار علت و معلولی، اگر منابع مالی و نقدینگی به اندازه کافی موجود نباشد، میزان ماشین‌آلات و تجهیزات ساخت کاهش می‌یابد. در اثر کاهش میزان تجهیزات ساخت، نرخ انجام کار کاهش می‌یابد. نرخ انجام کار علاوه بر میزان تجهیزات ساخت به بهره‌وری ماشین‌آلات و تجهیزات نیز بستگی دارد. در صورت پایین بودن بهره‌وری ماشین‌آلات و تجهیزات ساخت، نرخ انجام کار کاهش می‌یابد و باعث می‌شود مدت پروژه افزایش یابد. همچنین خرابی تجهیزات باعث کاهش سرعت روند ساخت و در نتیجه افزایش مدت پروژه می‌شود. در اثر افزایش مدت پروژه، هزینه ماشین‌آلات و تجهیزات و سایر هزینه‌ها افزایش می‌یابد و موجب تخطی هزینه می‌شود. این امر موجب کاهش نقدینگی می‌شود که در نهایت فرایند ذکر شده به صورت یک حلقه‌ی همواره موجب تخطی هزینه می‌شود.



شکل ۶. تعامل بین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در گروه بالاسری.

اشاره کرد که موجب تأخیر در روند ساخت و افزایش مدت پروژه می‌شود. همچنین در برخی موارد ممکن است به دلیل نرسیدن مصالح یا تجهیزات (که می‌تواند مثلاً ناشی از عدم پرداخت هزینه مصالح و تجهیزات در اثر کمبود نقدینگی باشد) مدت پروژه افزایش یابد. با افزایش مدت پروژه، هزینه‌های بالاسری نیز افزایش می‌یابد و موجب تخطی هزینه می‌شود. در اثر افزایش هزینه‌ها، نقدینگی کاهش می‌یابد و این حلقه نیز به همین ترتیب همواره موجب تخطی هزینه می‌شود.

به منظور ایجاد تعادل و جلوگیری از تخطی هزینه، «دریافت وام» می‌تواند توان مالی پیمانکار را افزایش دهد و از بروز اتفاقات ذکر شده جلوگیری کند. عامل «دریافت وام» توسط پیمانکار به عنوان یک سیاست متعادل‌کننده و به دلیل رعایت قوانین پویایی سیستم (وجود حلقه‌ی متعادل‌کننده در کنار حلقه‌ی تقویت‌کننده) به کار گرفته شده است؛ بنابراین جزء عوامل ایجادکننده تخطی هزینه محسوب نمی‌شود. شکل ۶ نشان‌دهنده روابط درونی و تعامل بین این عوامل است.

۵. پیاده‌سازی تکنیک دیتمل

در ادامه به منظور تعیین مهم‌ترین ساختارهای تأثیرگذار و تأثیرپذیر از تخطی هزینه از تکنیک دیتمل استفاده می‌شود.

۴.۴. بالاسری

مطابق جدول ۱ این زیرسیستم دارای یازده عامل است که منجر به تخطی هزینه می‌شود. با توجه به نمودار علت و معلولی، در اثر کاهش نقدینگی، توان مالی پیمانکار کاهش می‌یابد و ممکن است تجهیز سایت توسط پیمانکار به تعویق افتد. مطابق اصول و مقررات پیمان، بخشی از پیش‌پرداخت‌های کارفرما به پیمانکار پس از تجهیز سایت صورت می‌گیرد. در صورت تأخیر در تجهیز سایت توسط پیمانکار، این بخش از پیش‌پرداخت به پیمانکار تعلق نمی‌گیرد و حتی ممکن است از سوی کارفرما (بسته به نوع قرارداد) جریمه هم شود که باعث ضعیف‌تر شدن توان مالی پیمانکار می‌شود. تأخیر به وجود آمده در تجهیز سایت موجب افزایش مدت پروژه می‌شود.

از دیگر دلایل افزایش مدت پروژه می‌توان به شرایط آب و هوایی نامناسب

جدول ۲. مشخصات گروه خیره.

تعداد	سابقه کاری	تحصیلات
۱۴	بیش از ۱۰ سال	لیسانس مهندسی عمران
۱۸	بیش از ۵ سال	فوق لیسانس مهندسی عمران
۴	بیش از ۳ سال	دکتری مهندسی عمران

درايه‌های ماتریس تأثیرات مستقیم بر عدد ۵۶/۸۸ تقسیم و ماتریس نرمالایز شده محاسبه شد (ماتریس G).

۴.۵. محاسبه‌ی ماتریس روابط کل

پس از محاسبه‌ی ماتریس نرمال (ماتریس G)، ماتریس روابط کل (ماتریس Z) از طریق فرمول $Z = G(I - G)^{-1}$ و با کمک نرم‌افزار متلب محاسبه شد.

۵.۵. محاسبه‌ی مقادیر $(R + J)$ و $(R - J)$

پس از محاسبه‌ی ماتریس روابط کل، مجموع هر سطر (R) که بیان‌گر اثرگذاری هر عامل بر تخطی هزینه است، مجموع هر ستون (J) که بیان‌گر اثرپذیری هر عامل از تخطی هزینه است، بردار برتری $(R + J)$ و بردار ارتباط $(R - J)$ برای هر عامل محاسبه شد. در جدول ۳ مقادیر (R) ، (J) ، $(R + J)$ و $(R - J)$ برای عوامل مختلف ثبت شده است.

۶. نتایج و بحث

۱. با توجه به جدول ۳، کمبود نقدینگی، فقدان پرسنل فنی و متخصص و دوباره‌کاری به ترتیب بیشترین تأثیر را بر تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت دارند. در جدول ۴ رتبه‌بندی ۱۰ عامل مهم تأثیرگذار بر تخطی هزینه، به همراه درجه‌ی اثرگذاری هر عامل ثبت شده است.

۲. همچنین با توجه به جدول ۳، مدت پروژه، نقدینگی و بهره‌وری کارکنان به ترتیب بیشترین تأثیرپذیری را از تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت دارند. در جدول ۵ رتبه‌بندی ۱۰ عامل مهم تأثیرپذیر از تخطی هزینه ارائه شده است.

۳. از طرفی با توجه به جدول ۳، نقدینگی، مدت پروژه و بهره‌وری کارکنان به ترتیب بیشترین تعامل را با تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت دارد. به عبارت دیگر این عوامل بیشترین تأثیرگذاری و تأثیرپذیری را از تخطی هزینه دارند. در جدول ۶ رتبه‌بندی ۱۰ عامل بااهمیت در تخطی هزینه، به همراه درجه تعامل هر عامل با تخطی هزینه ارائه شده است.

۴. در زیرسیستم نیروی کار، کمبود نقدینگی، فقدان پرسنل فنی و متخصص و دوباره‌کاری به ترتیب بیشترین اثر را بر تخطی هزینه دارند. همچنین عوامل نقدینگی، بهره‌وری و انگیزش کارکنان به ترتیب بیشترین اثرپذیری را از تخطی هزینه دارند. از سوی دیگر عوامل نقدینگی، بهره‌وری کارکنان و نرخ انجام کار کارکنان به ترتیب بیشترین تعامل را با کل سیستم دارند. همچنین با توجه به مقدار نهایی $(R - J)$ که یک عدد مثبت است، زیرسیستم نیروی کار به عنوان یک گروه علت، بر تخطی هزینه تأثیر می‌گذارد.

نمودار علی نیز براساس ترسیم زوج مرتب‌های $(R + J, R - J)$ به دست می‌آید که درون‌بینی با ارزشی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول ۳، نمودار علی عوامل در شکل ۷ برای زیرسیستم نیروی کار رسم شده است. محور افقی این نمودار نشان‌گر مقدار $(R + J)$ و محور عمودی آن نشان‌گر مقدار $(R - J)$ برای هر عامل است.

با توجه به نمودار علی عوامل که در شکل ۷ رسم شده، مقدار $(R - J)$ برای عوامل پرسنل فنی و متخصص، دوباره‌کاری، خطا، خستگی، تعارض بین کارگران، اضافه‌کاری، پرداخت حقوق کارکنان و نرخ انجام کار مقداری مثبت و بزرگ‌تر از

۱.۵. محاسبه‌ی ماتریس تأثیرات مستقیم (ماتریس X)

به منظور کمی‌سازی اثرات عوامل مختلف بر سایر عوامل، یک ماتریس مربعی $X = (x_{ij})_{37 \times 37}$ ساخته شد که در آن درایه‌ی x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, 37; j = 1, 2, \dots, 37$) معرف میزان تأثیر عامل i ام بر عامل j ام است. (۳۷ عامل منجر به تخطی هزینه در نمودار علت و معلولی به کار گرفته شده است). میزان تأثیر هر عامل بر سایر عوامل با پنج معیار تأثیر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بدون تأثیر به ترتیب با اعداد قطعی ۴، ۳، ۲، ۱ و ۰ بر اساس نظرات خبرگان و از طریق توزیع و جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، مشخص شد. سپس با استفاده از میانگین حسابی، ماتریس تأثیرات مستقیم محاسبه شد.

۲.۵. طرح فرم نظرسنجی

ابتدا یک چارچوب جامع، ساده و قابل درک به منظور بهره‌گیری از نظرات خبرگان برای تعیین میزان تأثیرگذاری هر عامل بر سایر عوامل طراحی شد. در ابتدای فرم نظرسنجی، هدف نظرسنجی به همراه تعریف مختصر مفاهیم و راهنمای تکمیل فرم بیان شد. سپس مشخصات فردی پاسخ‌دهنده شامل نام، سطح تحصیلات، سابقه و زمینه‌ی کاری درج شد. در بخش بعدی نیز تعدادی جدول به صورت ماتریسی به منظور نمره‌دهی تنظیم شد.

به منظور انتخاب گروه خیره یک چارچوب کلی تعیین شد؛ شرط عضویت در گروه خیره‌ها عبارت است از:

۱. دارای تحصیلات لیسانس مهندسی عمران و سابقه کاری بیش از ۱۰ سال؛
۲. دارای تحصیلات فوق لیسانس مهندسی عمران و سابقه کاری بیش از ۵ سال؛
۳. دارای تحصیلات دکتری مهندسی عمران و سابقه کاری بیش از ۳ سال.

پرسش‌نامه‌ی طراحی شده هم به صورت حضوری و هم به صورت الکترونیکی و از طریق ایمیل برای ۵۳ خیره ارسال شد که از این تعداد پاسخ ۳۶ خیره تأیید شد. همچنین بر اساس فرمول کوکران، نتایج حاصل با ۱۰٪ خطا همراه خواهد بود. در توزیع پرسش‌نامه‌ها تا حد امکان سعی شد که پراکندگی جغرافیایی خبرگان در نظر گرفته شود. در جدول ۲ فراوانی خبرگان در هر یک از سه گروه ذکر شده ثبت شده است. شایان ذکر است شناسایی عوامل یکی از گام‌های اولیه پیش از به‌کارگیری ابزارهای تحقیق و تحلیل نتایج است. هدف، استفاده از پویایی سیستم و دیمتل جهت تحلیل روابط بین متغیرها است و پارامترها از ادبیات تحقیق و نظرات خبرگان به دست آمده است. به بیان بهتر تحلیل آماری هدف تحقیق نبوده است.

۳.۵. نرمال‌سازی ماتریس تأثیرات مستقیم (ماتریس G)

پس از محاسبه‌ی ماتریس تأثیرات مستقیم، مجموع هر سطر محاسبه شد. بیشترین مقدار مجموع سطرها معادل ۵۶/۸۸ و مربوط به عامل نقدینگی بود. سپس تمام

جدول ۳. محاسبه‌ی میزان اثرگذاری، میزان اثرپذیری، میزان تعامل و نوع عوامل مرتبط با تخطی هزینه.

عامل	درجه اثرگذاری (R)	درجه اثرپذیری (J)	میزان تعامل (R + J)	(R - J)	نوع عامل
تاخیر در پرداخت حقوق کارکنان	۳,۵۱۱۵۵۹	۳,۴۲۷۹۹۷	۶,۹۳۹۵۵۶	۰,۰۸۳۵۶۲	علت
مشکلات اضافه‌کاری	۳,۷۹۲۷۷۹	۳,۳۵۹۹۷	۷,۱۵۲۷۴۹	۰,۴۳۲۸۰۹	علت
انگیزش ضعیف کارکنان	۳,۲۳۵۴۰۴	۳,۹۹۶۱۶۲	۷,۲۳۱۵۶۶	-۰,۷۶۰۷۶	معلول
تعارض بین کارکنان	۳,۱۳۸۱۶۶	۲,۵۷۵۶۷۳	۵,۷۱۳۸۴	۰,۵۶۲۴۹۳	علت
بهره‌وری پایین کارکنان	۳,۵۳۴۸۶۱	۴,۳۷۶۳۷۷	۷,۹۱۱۲۳۸	-۰,۸۴۱۵۲	معلول
کمبود پرسنل فنی و متخصص	۳,۹۳۷۶۳۹	۲,۴۶۵۱۹۳	۶,۴۰۲۸۳۲	۱,۴۷۲۴۴۶	علت
خستگی کارکنان	۳,۴۰۱۹۷۳	۲,۸۲۳۴۹۷	۶,۲۲۵۴۷	۰,۵۷۸۴۷۶	علت
نرخ انجام کار پایین کارکنان	۳,۷۵۲۸۳۳	۳,۶۲۷۱۹۲	۷,۳۸۰۰۲۶	۰,۱۲۵۶۴۱	علت
فشار زمان‌بندی	۳,۲۳۷۸۵۸	۳,۵۲۴۵۸۸	۶,۷۶۲۴۴۶	-۰,۲۸۶۷۳	معلول
خطا	۳,۷۴۱۰۵۳	۲,۸۷۶۰۷۳	۶,۶۱۷۱۲۶	۰,۸۶۴۹۸۱	علت
دوباره‌کاری	۳,۹۲۸۸۵۹	۲,۶۶۴۸۱۲	۶,۵۹۳۶۷۱	۱,۲۶۴۰۴۶	علت
هزینه‌ی بالای کارگران	۲,۳۴۲۲۴۹	۳,۳۲۲۷۱۳	۵,۶۶۴۹۶۳	-۰,۹۹۰۴۶	معلول
کمبود نقدینگی	۳,۹۴۶۰۰۲	۴,۴۲۶۱۶۶	۸,۳۷۲۱۶۸	-۰,۴۸۰۱۶	معلول
تورم بازار	۳,۵۸۶۸۵۵	۱,۶۲۲۷۱۸	۵,۲۰۹۵۷۳	۱,۹۶۴۱۳۸	علت
نوسان قیمت	۲,۹۲۳۵۲۴	۱,۸۱۸۱۹۳	۴,۷۴۱۷۱۷	۱,۱۰۵۳۳۲	علت
عرضه‌ی کم مصالح در بازار	۲,۵۰۹۴۳	۲,۳۵۵۹۸۴	۴,۸۶۵۴۱۴	۰,۱۵۳۴۴۵	علت
تحریم	۳,۴۰۲۵۳۶	۱,۳۸۱۷۶۵	۴,۷۸۴۳۰۲	۲,۰۲۰۷۷۱	علت
دسترسی ضعیف به مصالح در بازار	۲,۳۴۰۲۷	۲,۴۱۲۷۴۶	۴,۷۵۳۰۱۶	-۰,۰۷۲۴۸	معلول
قیمت بالای مصالح	۲,۵۶۴۶۳۳	۲,۱۱۳۸۷۹	۴,۶۷۸۵۱۲	۰,۴۵۰۷۵۴	علت
کیفیت پایین مصالح	۲,۱۹۷۰۳۴	۲,۰۱۹۲۷۴	۴,۲۱۶۳۰۸	۰,۱۷۷۷۶	علت
هزینه‌ی بالای مصالح	۲,۴۸۶۲۴۳	۲,۳۷۹۶۲۵	۴,۸۶۵۸۶۷	۰,۱۰۶۶۱۸	علت
اتلاف مصالح	۲,۸۷۴۰۷۳	۳,۲۸۵۹۳۹	۶,۱۶۰۰۱۳	-۰,۴۱۱۸۷	معلول
اعتبار پایین شرکت	۲,۲۹۷۲۱۵	۴,۲۱۸۳۳	۶,۵۱۵۵۴۵	-۱,۹۲۱۱۲	معلول
خرابی تجهیزات	۳,۷۰۷۴۶۶	۲,۱۲۸۰۶۴	۵,۸۳۵۵۳	۱,۵۷۹۴۰۲	علت
بهره‌وری پایین تجهیزات	۲,۹۰۴۵۷۸	۳,۳۵۳۶۷۹	۶,۲۵۸۲۵۷	-۰,۴۴۹۱	معلول
کمبود تجهیزات ساخت	۳,۴۷۲۲۱۴	۳,۸۶۰۲۹۲	۷,۳۳۲۵۰۶	-۰,۳۸۸۰۸	معلول
نرخ انجام کار پایین ماشین‌آلات	۳,۱۶۱۸۹۶	۳,۵۳۷۳۷۶	۶,۶۹۹۲۷۲	-۰,۳۷۵۴۸	معلول
افزایش مدت پروژه	۲,۹۲۲۲۷۳	۵,۴۳۹۴۱۶	۸,۳۶۱۶۸۹	-۲,۵۱۷۱۴	معلول
هزینه‌ی بالای ماشین‌آلات	۲,۰۰۳۰۲۱	۳,۷۳۹۱۲۳	۵,۷۴۲۱۴۴	-۱,۷۳۶۱	معلول
مشکلات مالی پیمانکار	۳,۵۱۷۸۰۹	۳,۵۲۹۵۱۹	۷,۰۴۷۳۲۸	-۰,۰۱۱۷۱	علت
پرداخت جریمه توسط پیمانکار	۲,۶۱۱۹۳	۳,۵۵۲۵۹۶	۶,۱۶۴۵۲۶	-۰,۹۴۰۶۷	معلول
عدم دریافت پیش‌پرداخت توسط پیمانکار	۲,۴۵۷۳۲۲	۲,۸۶۳۷۴۸	۵,۳۲۱۰۷	-۰,۴۰۶۴۳	معلول
تأخیر در تجهیز سایت توسط پیمانکار	۲,۶۷۶۲۳۹	۳,۳۳۷۷۲۲	۶,۰۱۳۹۶۱	-۰,۶۶۱۴۸	معلول
شرایط آب و هوایی نامناسب	۳,۷۷۶۷۰۸	۱,۱۳۱۶۰۵	۴,۹۰۸۳۱۳	۲,۶۴۵۱۰۳	علت
تأخیر در پرداخت هزینه‌ی مصالح	۲,۴۴۲۰۹۸	۲,۹۲۷۶۲۴	۵,۳۶۹۷۲۲	-۰,۴۸۵۵۳	معلول
تأخیر در تحویل مصالح	۲,۲۲۷۳۸۵	۲,۳۸۳۲۴۱	۴,۶۱۰۶۲۶	-۰,۱۵۵۸۶	معلول
افزایش هزینه‌های بالاسری	۱,۷۶۶۸۲۷	۳,۴۶۱۹۴۲	۵,۲۲۸۷۶۹	-۱,۶۹۵۱۲	معلول

جدول ۴. رتبه‌بندی مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تخطی هزینه.

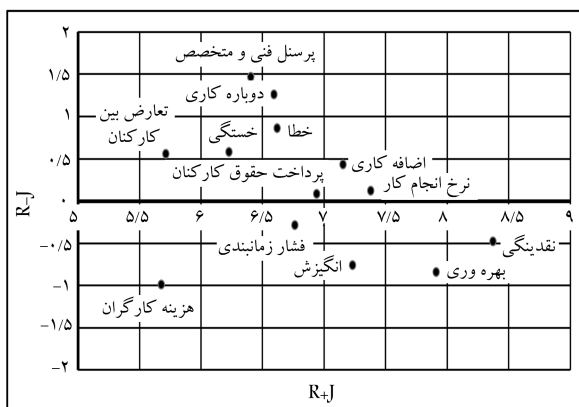
رتبه	عامل	درجه اثرگذاری (R)
۱	نقدینگی	۳,۹۴۶۰۰۲
۲	پرستل فنی و متخصص	۳,۹۳۷۶۳۹
۳	دوباره‌کاری	۳,۹۲۸۸۵۹
۴	اضافه‌کاری	۳,۷۹۲۷۷۹
۵	شرایط آب و هوایی	۳,۷۷۶۷۰۸
۶	نرخ انجام کار	۳,۷۵۲۸۳۳
۷	خطا	۳,۷۴۱۰۵۳
۸	خرابی تجهیزات	۳,۷۰۷۴۶۶
۹	تورم بازار	۳,۵۸۶۸۵۵
۱۰	بهره‌وری کارکنان	۳,۵۳۴۸۶۱

جدول ۵. رتبه‌بندی مهم‌ترین عوامل اثرپذیر از تخطی هزینه.

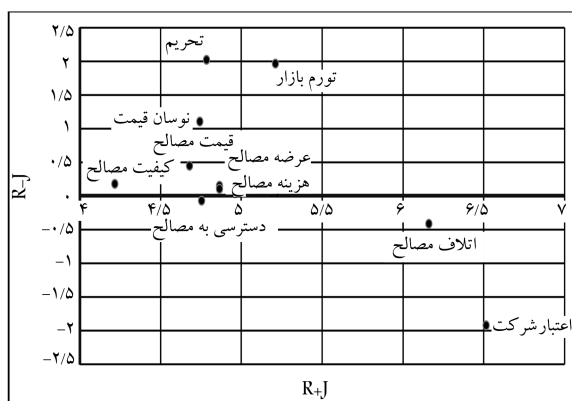
رتبه	عامل	درجه اثرگذاری (J)
۱	مدت پروژه	۵,۴۳۹۴۱۶
۲	نقدینگی	۴,۴۲۶۱۶۶
۳	بهره‌وری	۴,۳۷۶۳۷۷
۴	اعتبار شرکت	۴,۲۱۸۳۳
۵	انگیزش	۳,۹۹۶۱۶۲
۶	میزان تجهیزات ساخت	۳,۸۶۰۲۹۲
۷	هزینه‌ی ماشین‌آلات	۳,۷۳۹۱۲۳
۸	نرخ انجام کار	۳,۶۲۷۱۹۲
۹	پرداخت جریمه توسط پیمانکار	۳,۵۵۲۵۹۶
۱۰	نرخ انجام کار ماشین‌آلات	۳,۵۳۷۳۷۶

جدول ۶. رتبه‌بندی مهم‌ترین عوامل از نظر میزان تعامل با تخطی هزینه.

رتبه	عامل	(R + J)
۱	نقدینگی	۸,۳۷۲۱۶۸
۲	مدت پروژه	۸,۳۶۱۶۸۹
۳	بهره‌وری	۷,۹۱۱۲۳۸
۴	نرخ انجام کار	۷,۳۸۰۰۲۶
۵	میزان تجهیزات ساخت	۷,۳۳۲۵۰۶
۶	انگیزش	۷,۲۳۱۵۶۶
۷	اضافه‌کاری	۷,۱۵۲۷۴۹
۸	توان مالی پیمانکار	۷,۰۴۷۳۲۸
۹	پرداخت حقوق کارکنان	۶,۹۳۹۵۵۶
۱۰	فشار زمان‌بندی	۶,۷۶۲۴۴۶



شکل ۷. نمودار علی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در زیرسیستم نیروی کار.



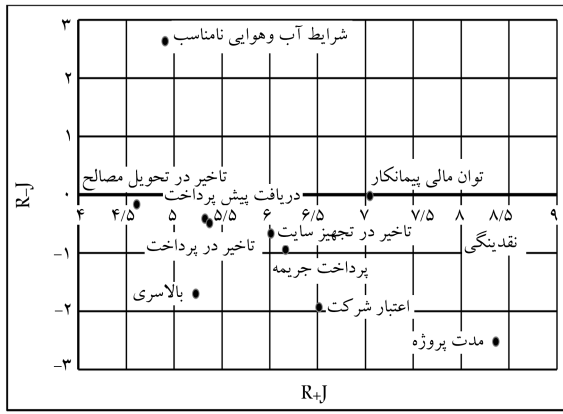
شکل ۸. نمودار علی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در زیرسیستم مصالح.

برای این عوامل کوچک‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم، کم‌تر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که این پنج عامل جزء متغیرهای معلولی محسوب می‌شوند که پیامد تخطی هزینه‌اند.

همچنین عوامل نقدینگی، بهره‌وری کارکنان و نرخ انجام کار کارکنان (در قسمت سمت راست نمودار) به ترتیب در رتبه اول تا سوم بیشترین مقدار $(R + J)$ قرار دارند. درواقع می‌توان گفت در این زیرسیستم نقدینگی بیشترین تعامل را با سیستم دارد و بیش‌تر از هر عاملی بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و تأثیر می‌پذیرد. کم‌ترین مقادیر $(R + J)$ مربوط به هزینه‌ی کارگران، تعارض بین کارگران و خستگی است. به عبارت دیگر این عوامل کم‌ترین تعامل را با کل سیستم دارند و در مقایسه با سایر عوامل، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری کم‌تری با عناصر دیگر دارد.

۵. در زیرسیستم مصالح، تورم بازار، تحریم و نوسان قیمت به ترتیب بیشترین اثر را بر تخطی هزینه دارند. همچنین عوامل تورم شرکت، اتلاف مصالح و دسترسی به مصالح در بازار به ترتیب بیشترین اثرپذیری را از تخطی هزینه دارند. از طرفی عوامل اعتبار شرکت، اتلاف مصالح و تورم بازار به ترتیب بیشترین تعامل را با کل سیستم دارند. با توجه به مقدار نهایی $(R - J)$ که یک عدد مثبت است، زیرسیستم مصالح به‌عنوان یک گروه علت، بر تخطی هزینه تأثیر می‌گذارد. با توجه به جدول ۳، نمودار علی عوامل در شکل ۸ برای زیرسیستم مصالح رسم شده است. محور افقی این نمودار

صفر است؛ این عوامل در قسمت بالایی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R برای این عوامل بزرگ‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم، بیش‌تر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که هشت عامل فوق جزء متغیرهای علت محسوب می‌شوند. لذا به‌منظور جلوگیری از تخطی هزینه، باید بیش‌ترین سیاست‌گذاری و هزینه‌ی برنامه‌ریزی برای این عوامل انجام شود. از طرفی، مقدار $(R - J)$ برای عوامل هزینه‌ی کارگران، انگیزش، بهره‌وری، نقدینگی و فشار زمان‌بندی مقداری منفی و کوچک‌تر از صفر است؛ این عوامل در قسمت پایینی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R



شکل ۹. نمودار علی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در زیرسیستم تجهیزات.

از تخطی هزینه، باید بیشترین سیاست‌گذاری و هزینه برنامه‌ریزی برای این عوامل انجام شود. از طرفی، مقدار $(R - J)$ برای سایر عوامل در زیرسیستم بالاسری مقداری منفی و کوچک‌تر از صفر است؛ این عوامل در قسمت پایینی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R برای این عوامل کوچک‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم کم‌تر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که این عوامل پیامد تخطی هزینه‌اند. همچنین عوامل نقدینگی، مدت پروژه و توان مالی پیمانکار (در سمت راست نمودار) به ترتیب در رتبه‌ی اول تا سوم بیشترین مقدار $(R + J)$ قرار دارند. در واقع می‌توان گفت که در زیرسیستم بالاسری، نقدینگی بیشترین تعامل را با سیستم دارد و بیشتر از هر عاملی بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و تأثیر می‌پذیرد.

کم‌ترین مقادیر $(R + J)$ مربوط به تأخیر در تحویل مصالح، شرایط آب و هوایی نامناسب و هزینه‌های بالاسری است. به عبارت دیگر این عوامل کم‌ترین تعامل را با سیستم دارند و در مقایسه با سایر عوامل، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری کم‌تری با عناصر دیگر دارد.

در زیرسیستم تجهیزات، کمبود نقدینگی، میزان (کمبود) تجهیزات ساخت و نرخ پایین انجام کار تجهیزات به ترتیب بیشترین اثر را بر تخطی هزینه دارند. همچنین عوامل مدت پروژه، نقدینگی و میزان تجهیزات ساخت به ترتیب بیشترین اثرپذیری را از تخطی هزینه دارند. از سوی دیگر، همین سه عامل یعنی نقدینگی، مدت پروژه و میزان تجهیزات ساخت به ترتیب بیشترین تعامل را با کل سیستم دارند. همچنین با توجه به مقدار نهایی $(R - J)$ که یک عدد منفی است، زیرسیستم تجهیزات به‌عنوان یک گروه معلول، از تخطی هزینه تأثیر می‌پذیرد. با توجه به مقادیر محاسبه‌شده در جدول ۳، نمودار علی عوامل در شکل ۱۰ برای زیرسیستم تجهیزات رسم شده است. محور افقی این نمودار نشان‌گر مقدار $(R + J)$ و محور عمودی آن نشان‌گر مقدار $(R - J)$ برای هر عامل است.

با توجه به نمودار علی عوامل که در شکل ۱۰ رسم شده، مقدار $(R - J)$ برای خرابی تجهیزات مقداری مثبت و بزرگ‌تر از صفر است؛ این عامل در قسمت بالایی نمودار قرار دارد. به عبارت دیگر مقدار R برای این عامل بزرگ‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عامل بر سیستم، بیشتر از میزان تأثیرپذیری آن است. بنابراین می‌توان گفت که عامل خرابی تجهیزات جزء متغیرهای علت محسوب می‌شود. لذا به‌منظور جلوگیری از

نشان‌گر مقدار $(R + J)$ و محور عمودی آن نشان‌گر مقدار $(R - J)$ برای هر عامل است (به دلیل عدم تداخل عوامل محور افقی از عدد ۴ شروع شده است).

با توجه به نمودار علی عوامل که در شکل ۸ رسم شده است، مقدار $(R - J)$ برای عوامل تحریم، تورم بازار، نوسان قیمت، قیمت مصالح، کیفیت مصالح، هزینه مصالح و عرضه مصالح مقداری مثبت و بزرگ‌تر از صفر بوده و این عوامل در قسمت بالایی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R برای این عوامل بزرگ‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم، بیشتر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که هفت عامل فوق جزء متغیرهای علت محسوب می‌شوند. لذا به‌منظور جلوگیری از تخطی هزینه، باید بیشترین سیاست‌گذاری و هزینه‌ی برنامه‌ریزی برای این عوامل انجام شود.

از طرفی، مقدار $(R - J)$ برای عوامل اعتبار شرکت، اتلاف مصالح و دسترسی به مصالح مقداری منفی و کوچک‌تر از صفر بوده و این عوامل در قسمت پایینی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R برای این عوامل کوچک‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم، کم‌تر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که این سه عامل جزء متغیرهای معلولی محسوب می‌شود که پیامد تخطی هزینه است.

همچنین عوامل اعتبار شرکت، اتلاف مصالح و تورم بازار به ترتیب در رتبه اول تا سوم بیشترین مقدار $(R + J)$ قرار دارند (در قسمت سمت راست نمودار هستند). در واقع می‌توان گفت که در زیرسیستم مصالح، اعتبار شرکت بیشترین تعامل را با سیستم دارد و بیشتر از هر عاملی بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و تأثیر می‌پذیرد. کم‌ترین مقادیر $(R + J)$ مربوط به کیفیت مصالح، قیمت مصالح دسترسی به مصالح است. به عبارت دیگر این عوامل کم‌ترین تعامل را با کل سیستم دارند و نسبت به سایر عوامل، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری کم‌تری با عناصر دیگر دارد.

در زیرسیستم بالاسری، کمبود نقدینگی، شرایط آب و هوایی نامناسب و توان مالی ضعیف پیمانکار به ترتیب بیشترین اثر را بر تخطی هزینه دارند. همچنین عوامل مدت پروژه، نقدینگی و اعتبار شرکت به ترتیب بیشترین اثرپذیری را از تخطی هزینه دارند. از طرفی عوامل نقدینگی، مدت پروژه و توان مالی پیمانکار به ترتیب بیشترین تعامل را با کل سیستم دارند. و نیز با توجه به مقدار نهایی $(R - J)$ که یک عدد منفی است، زیرسیستم بالاسری به‌عنوان یک گروه معلول، از تخطی هزینه تأثیر می‌پذیرد. با توجه به جدول ۳، نمودار علی عوامل در شکل ۹ برای زیرسیستم بالاسری رسم شده است. محور افقی این نمودار نشان‌گر مقدار $(R + J)$ و محور عمودی آن نشان‌گر مقدار $(R - J)$ برای هر عامل است (برای پیشگیری از تداخل عوامل، محور افقی از عدد ۴ شروع شده است).

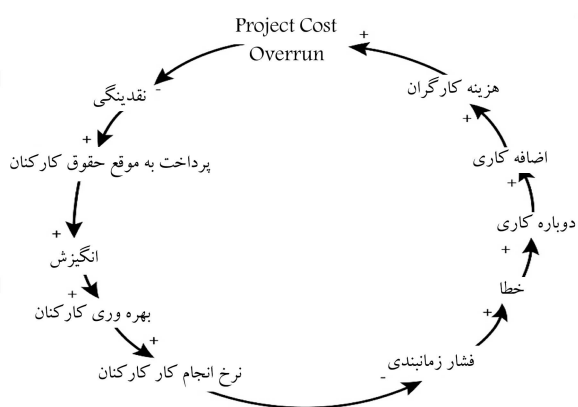
با توجه به نمودار علی عوامل در شکل ۹، مقدار $(R - J)$ برای عوامل شرایط آب و هوایی نامناسب و توان مالی پیمانکار مقداری مثبت و بزرگ‌تر از صفر است؛ این عوامل در قسمت بالایی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R برای این عوامل بزرگ‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم، بیشتر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که دو عامل فوق جزء متغیرهای علت محسوب می‌شود. لذا به‌منظور جلوگیری از

جدول ۷. مقایسه‌ی میزان اثرگذاری، میزان اثرپذیری و میزان تعامل زیرسیستم‌های مختلف با تخطی هزینه.

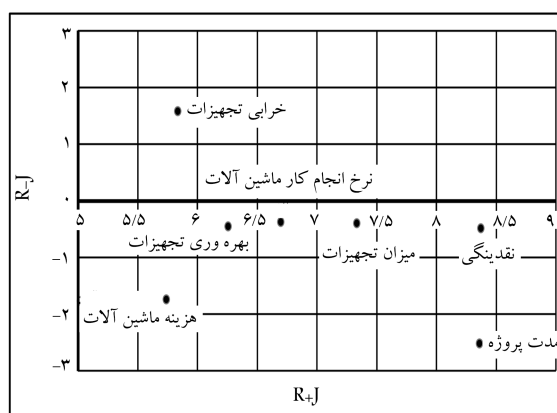
نوع عامل	$(R - J)$	میزان تعامل $(R + J)$	درجه اثرپذیری (J)	درجه اثرگذاری (R)	زیرسیستم
علت	+۲,۰۲۴۸۲۲	۸۸,۹۷۷۶۵	۴۳,۴۷۶۴۱	۴۵,۵۰۱۲۴	نیروی کار
علت	+۳,۵۷۳۳۳۶	۵۰,۷۹۰۲۷	۲۳,۶۰۸۴۵	۲۷,۱۸۱۸۱	مصالح
معلول	-۴,۳۶۶۶۷	۴۸,۶۰۱۵۷	۲۶,۴۸۴۱۲	۲۲,۱۱۷۴۵	تجهیزات
معلول	-۶,۶۳۰۱	۶۷,۹۱۳۷۲	۳۷,۲۷۱۹۱	۳۰,۶۴۱۸۱	بالاسری

جدول ۸. مقایسه‌ی درصد اثرگذاری، اثرپذیری و تعامل زیرسیستم‌های مختلف با تخطی هزینه.

زیرسیستم	درصد اثرگذاری (%)	درصد اثرپذیری (%)	درصد تعامل (%)
نیروی کار	۳۶,۳	۳۳,۲۵	۳۴,۷
بالاسری	۲۴,۴	۲۸,۵	۲۶,۵
مصالح	۲۱,۷	۱۸	۱۹,۸
تجهیزات	۱۷,۶	۲۰,۲۵	۱۹



شکل ۱۱. حلقه‌ی رتبه اول به لحاظ اثرگذاری بر تخطی هزینه.



شکل ۱۰. نمودار علی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در زیرسیستم تجهیزات.

۹. با توجه به مقادیر محاسبه شده برای میزان تأثیرگذاری عوامل مختلف بر تخطی هزینه، از بین تمام حلقه‌هایی که در مدل نمودار علت و معلولی منجر به تخطی هزینه می‌شوند، حلقه‌ی معرفی شده در شکل ۱۱ به عنوان مهم‌ترین حلقه‌ی تأثیرگذار بر تخطی هزینه شناسایی شد. با توجه به متفاوت بودن تعداد عوامل موجود در حلقه‌های مختلف، از میانگین درجه‌ی تأثیرگذاری عوامل موجود در هر حلقه برای رتبه‌بندی آن‌ها استفاده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشخص است، این حلقه ۱۰ عامل دارد که منجر به تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت می‌شود. با توجه به جدول ۳ مجموع درجه تأثیرگذاری (R) عوامل موجود در این حلقه بر تخطی هزینه ۳۵,۰۲۴ و میانگین آن ۳,۵۰۲۴ است. مطابق نتایج این پژوهش، این حلقه اولین حلقه‌ی مهم از نظر تأثیرگذاری بر تخطی هزینه است.

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر تخطی هزینه پروژه‌های عمرانی در ایران ابتدا ۳۷ عامل مؤثر بر تخطی هزینه در پروژه‌های عمرانی از طریق مرور ادبیات شناسایی و در چهار گروه دسته‌بندی شد. سپس نمودار علت و معلولی و تعامل بین این عوامل در روند جریان کار پروژه و در قالب چهار زیرسیستم شامل نیروی

تخطی هزینه، باید بیشترین سیاست‌گذاری و هزینه‌ی برنامه‌ریزی برای این عامل انجام شود. از طرفی، مقدار $(R - J)$ برای سایر عوامل مقداری منفی و کوچک‌تر از صفر بوده و این عوامل در قسمت پایینی نمودار قرار دارند. به عبارت دیگر مقدار R برای این عوامل کوچک‌تر از مقدار J است که نشان می‌دهد میزان تأثیرگذاری این عوامل بر سیستم، کم‌تر از میزان تأثیرپذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان گفت که این عوامل جزء متغیرهای معلولی محسوب می‌شود که پیامد تخطی هزینه‌اند. همچنین عوامل نقدینگی، مدت پروژه و میزان تجهیزات ساخت به ترتیب در رتبه اول تا سوم بیشترین مقدار $(R + J)$ قرار دارند (در قسمت سمت راست نمودار هستند). در واقع می‌توان گفت که در زیرسیستم تجهیزات نیز نقدینگی بیشترین تعامل را با سیستم دارد و بیشتر از هر عاملی بر سایر عوامل تأثیر می‌گذارد و از آنها تأثیر می‌پذیرد. کم‌ترین مقادیر $(R + J)$ مربوط به هزینه ماشین‌آلات، خرابی تجهیزات و بهره‌وری تجهیزات است. به عبارت دیگر این عوامل کم‌ترین تعامل را با سیستم دارند.

۸. جدول ۷ میزان اثرگذاری، اثرپذیری، میزان تعامل هر زیرسیستم با تخطی هزینه و همچنین نوع هر زیرسیستم (علت یا معلول) را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۸ درصد اثرگذاری، درصد اثرپذیری و درصد تعامل زیرسیستم‌های مختلف با تخطی هزینه ارائه شده است.

که در سال ۲۰۱۷ توسط سوهو^[۲۱] انجام شد، عامل دوباره‌کاری به‌عنوان سی و هشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

رتبه‌ی چهارم مربوط به عامل اضافه‌کاری است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۸ توسط ازهر و همکاران^[۱۸] در پاکستان انجام شد، عامل اضافه‌کاری به‌عنوان هشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در سال ۲۰۱۰ انشاسی و همکاران^[۲۰] عامل اضافه‌کاری را به‌عنوان چهل و دومین عامل مؤثر بر تخطی هزینه در فلسطین معرفی کردند. از طرفی در سال ۲۰۱۱ ممون و همکاران^[۲۹] عامل اضافه‌کاری را به‌عنوان بیست و ششمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه در مالزی معرفی کردند. همچنین در تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ در کشور هند توسط وانجاری و دوباریا^[۳۲] انجام شد، عامل اضافه‌کاری به‌عنوان چهارمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

رتبه‌ی پنجم مربوط به عامل شرایط آب و هوایی نامناسب است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ توسط فریمپونگ و همکاران^[۱۶] در غنا انجام شد، عامل شرایط آب و هوایی نامناسب به‌عنوان نهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در سال ۲۰۰۵ کوشکی و همکاران^[۱۷] عامل شرایط آب و هوایی نامناسب را به‌عنوان ششمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه در کویت معرفی کردند. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۹ توسط کالیبا و همکاران^[۱۹] در کشور زامبیا انجام شد، عامل شرایط آب و هوایی به‌عنوان اولین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در سال ۲۰۱۰ انشاسی و همکاران^[۲۰] عامل شرایط آب و هوایی نامناسب را به‌عنوان چهارمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه در فلسطین معرفی کردند. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ توسط ممون و همکاران^[۲۹] در مالزی انجام شد، عامل شرایط آب و هوایی نامناسب به‌عنوان چهل و سومین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

مطابق نتایج این تحقیق، نرخ انجام کار کارکنان در رتبه‌ی ششم مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخطی هزینه قرار دارد، در حالی‌که در سایر تحقیقات انجام شده به این عامل کم‌تر اشاره شده است.

رتبه‌ی هفتم مربوط به عامل خطاست. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ توسط فریمپونگ و همکاران^[۱۶] در غنا انجام شد، عامل خطا به‌عنوان بیست و دومین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ توسط ممون و همکاران^[۲۹] در مالزی انجام شد، عامل خطا به‌عنوان نهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. همچنین در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۳ توسط عبدالرحمان و همکاران^[۳۰] در مالزی انجام شد، عامل خطا به‌عنوان هفتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. از طرفی در تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ در کشور هند توسط وانجاری و دوباریا^[۳۲] انجام شد، عامل خطا به‌عنوان سیزدهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

رتبه‌ی هشتم مربوط به عامل خرابی تجهیزات است. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ توسط ممون و همکاران^[۲۹] در مالزی انجام شد، عامل خرابی تجهیزات به‌عنوان سی و پنجمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. همچنین در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۳ توسط عبدالرحمان و همکاران^[۳۰] در مالزی انجام شد، عامل خرابی تجهیزات به‌عنوان دهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

رتبه‌ی نهم مربوط به عامل تورم است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ توسط فریمپونگ و همکاران^[۱۶] در غنا انجام شد، عامل تورم به‌عنوان هشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. همچنین در تحقیقی که در سال ۲۰۰۹ توسط کالیبا و همکاران^[۱۹] در کشور زامبیا انجام شد، عامل تورم به‌عنوان دومین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. از طرفی در تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ توسط درخشان و تیرا^[۳۱] در ایران انجام شد، عامل تورم به‌عنوان پنجمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه

کار، مصالح، تجهیزات و بالاسری با استفاده از روش بویایی سیستم توسعه داده شد. نمودار علت و معلولی حاصل از روش بویایی سیستم به‌منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر از تخطی هزینه با روش دیمتل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و رتبه‌بندی عوامل از نظر میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و میزان تعامل با تخطی هزینه مشخص شد. همچنین عوامل و زیرسیستم‌ها به گروه‌های علت و معلولی تقسیم شدند.

با توجه به یافته‌های تحقیق، عوامل کمبود نقدینگی، فقدان پرسنل فنی و متخصص و دوباره‌کاری به ترتیب بیشترین تأثیر را بر تخطی هزینه در پروژه‌های ساخت دارند. همچنین مدت پروژه، نقدینگی و بهره‌وری کارکنان به ترتیب بیشترین تأثیرپذیری از تخطی هزینه را در پروژه‌های ساخت دارند. علاوه بر این، مطابق مدل ارائه شده، عوامل موجود در زیرسیستم نیروی کار با ۳۶/۳ درصد، بالاسری با ۲۴/۴ درصد، مصالح با ۲۱/۷ درصد و زیرسیستم تجهیزات با ۱۷/۶ درصد به ترتیب بیشترین اثر را بر تخطی هزینه دارند. در پایان مهم‌ترین حلقه‌ی مرتبط با تخطی هزینه از نظر میزان تأثیرگذاری شناسایی و بررسی شدند.

۱.۷. مقایسه‌ی نتایج

همان‌طور که اشاره شد، در این پژوهش رتبه‌ی اول مربوط به عامل کمبود نقدینگی است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ توسط فریمپونگ و همکاران^[۱۶] در غنا انجام شد، عامل نقدینگی به‌عنوان هفتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. همچنین در سال ۲۰۱۱ ممون و همکاران^[۲۹] در مالزی، عامل نقدینگی را به‌عنوان یازدهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه معرفی کردند. عبدالرحمان و همکاران^[۳۰] نیز در سال ۲۰۱۳ عوامل مؤثر بر تخطی هزینه را در مالزی رتبه‌بندی کردند و بر این اساس عامل نقدینگی در رتبه‌ی دوم قرار گرفت. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۷ توسط سوهو^[۲۱] انجام شد، عامل کمبود نقدینگی به‌عنوان شانزدهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

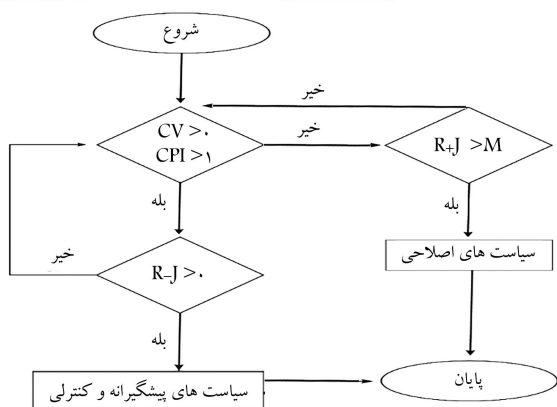
مطابق جدول ۴ رتبه‌ی دوم مربوط به عامل کمبود پرسنل فنی و متخصص است. در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ توسط فریمپونگ و همکاران^[۱۶] در غنا انجام شد، عامل پرسنل فنی و متخصص به‌عنوان بیستین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. همچنین در سال ۲۰۱۰ انشاسی و همکاران^[۲۰] در فلسطین، عامل پرسنل فنی و متخصص را به‌عنوان سی و هشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه معرفی کردند.

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ توسط ممون و همکاران^[۲۹] در مالزی انجام شد، عامل پرسنل فنی و متخصص به‌عنوان سی و ششمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۳ نیز^[۳۰] عامل پرسنل فنی و متخصص به‌عنوان هشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۶ توسط درخشان و تیرا^[۳۱] در ایران انجام شد، عامل پرسنل فنی و متخصص به‌عنوان چهارمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. همچنین در تحقیقی که در سال ۲۰۱۷ توسط سوهو^[۲۱] انجام شد، عامل کمبود پرسنل فنی و متخصص به‌عنوان یازدهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

رتبه‌ی سوم مربوط به عامل دوباره‌کاری است. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ توسط انشاسی و همکاران^[۲۰] در فلسطین انجام شد، عامل دوباره‌کاری به‌عنوان بیست‌وهشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۱ توسط ممون و همکاران^[۲۹] در مالزی انجام شد، عامل دوباره‌کاری به‌عنوان هفدهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. از طرفی، در تحقیقی

شناسایی شد. همچنین در تحقیقی که در سال ۲۰۱۷ توسط نیازی و پینتیگ [۲۱]۱۴ در افغانستان انجام شد، عامل تورم به‌عنوان ششمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.

در نهایت، مطابق نتایج این تحقیق، عامل بهره‌وری کارکنان در رتبه دهم است. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۱ توسط ممون و همکاران [۲۹] در مالزی انجام شد، عامل بهره‌وری کارکنان به‌عنوان بیست و هشتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد. در سال ۲۰۱۳ عبدالرحمان و همکاران، [۳۰] عامل بهره‌وری کارکنان را به‌عنوان هفتمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه در مالزی معرفی کردند. در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۷ توسط سوهو [۳۱] انجام شد، عامل بهره‌وری کارکنان به‌عنوان پنجاه و نهمین عامل مؤثر بر تخطی هزینه شناسایی شد.



شکل ۱۲. الگوریتم پیشنهادی برای سیاست‌گذاری.

اهمیت است و باید سیاست‌های اصلاحی را برای آن در نظر گرفت. حد آستانه را می‌توان میانگین مقادیر $R + J$ در نظر گرفت.

مطالب بیان شده به‌صورت الگوریتم ارائه شده در شکل ۱۲ قابل نمایش است. با توجه به الگوریتم ارائه شده، در هر مرحله از پروژه با در نظر گرفتن مقادیر CV یا CPI می‌توان سیاست‌گذاری‌های مختلفی را برای هر عامل مشخص کرد.

۳.۷. پیشنهاد برای تحقیقات آتی

توسعه‌های بالقوه برای مدل حاضر عبارت‌اند از:

۱. توسعه‌ی نمودار علت و معلولی: همان‌طور که گفته شد در این پژوهش نمودار علت و معلولی برای جریان کار پروژه توسعه داده شده است و مراحل قبل از آن مانند فاز طراحی و مطالعات اولیه در نظر گرفته نشده است. بدیهی است با توسعه‌ی مدل علت و معلولی و اضافه کردن عوامل مؤثر بر تخطی هزینه در فاز طراحی، مدل کامل‌تری ارائه خواهد شد؛
۲. توسعه‌ی کامل مدل سیستم پویا برای تخطی هزینه: به این ترتیب که پس از توسعه‌ی نمودار علت و معلولی، نمودار جریان، نرخ جریان و معادلات ریاضی نیز توسعه داده شود و پس از شبیه‌سازی، نتایج آن با نتایج این پژوهش مقایسه شود؛
۳. بهره‌مندی از تحلیل محتوای پنهان بجای تحلیل محتوای آشکار: یکی از اموری که در تحلیل محتوای کیفی باید مورد توجه قرار گیرد، تعیین چارچوب نظری برای تحلیل داده‌هاست. بنابراین، محقق در ابتدا نیاز به یک چارچوب نظری دارد تا بر اساس آن، فرضیه‌ها و متغیرهای خود را مشخص کند، سپس درصد روشی برآید که با تحلیل داده‌ها مناسب باشد.

۲.۷. الگوی پیشنهادی برای سیاست‌گذاری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان انواع سیاست‌ها و برنامه‌ها را با استفاده از شاخص‌های عملکردی پروژه، برای جلوگیری از تخطی هزینه یا اصلاح آن در نظر گرفت که روش پیشنهادی در ادامه توضیح داده شده است.

عملکرد هزینه با دو پارامتر، شامل واریانس هزینه (CV) و شاخص عملکردی هزینه (CPI) تعیین می‌شود.

اگر $CV > 0$ یا $CPI < 1$ ، آنگاه هزینه‌های صرف شده کم‌تر از مقدار پیش‌بینی شده است و با توجه به تعریف تخطی هزینه (تعدی هزینه از مقدار پیش‌بینی شده)، می‌توان گفت که تخطی هزینه رخ نداده است. در این شرایط باید از وقوع عواملی که طبق محاسبات دیمتل، علت هستند یا به عبارتی $R - J > 0$ است، جلوگیری و سیاست‌های پیشگیرانه و کنترلی اعمال کرد. از بین عوامل علی، اولویت با عواملی است که اثرگذاری بیشتری بر تخطی هزینه دارند (اولویت با عواملی است که مقدار R بزرگ‌تری دارند).

اما در صورتی که $CV < 0$ یا $CPI > 1$ ، آنگاه هزینه‌های صرف شده بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده است و با توجه به تعریف تخطی هزینه (تعدی هزینه از مقدار پیش‌بینی شده)، می‌توان گفت که تخطی هزینه رخ داده است. در این شرایط علاوه بر عواملی که علت تخطی هزینه‌اند، عوامل معلول که پیامد تخطی هزینه‌اند نیز نمایان می‌شوند. در این مرحله تمام عوامل به‌صورت حلقه‌های تکرارشونده و در قالب نمودار CLD مطرح شده در شکل ۲ باعث تشدید تخطی هزینه می‌شود. بنابراین در این حالت برای عواملی که تعامل بیشتری با تخطی هزینه دارند (عواملی که مقدار $R + J$ بزرگ‌تری دارند)، باید سیاست‌های اصلاحی اعمال کرد. در این حالت می‌توان یک حد آستانه (M) برای $R + J$ تعیین کرد. به این ترتیب که اگر $R + J$ برای یک عامل بزرگ‌تر از مقدار حد آستانه باشد، آن عامل یک عامل پر

پانویس‌ها

1. decision making trial and evaluation laboratory
2. DEMATEL
3. causal loop diagram-
4. Frimpong et al

5. Memon et al
6. Abdul rahman et al
7. Sohu et al
8. Enshassi et al
9. Derakhshanalvijeh and Teixeira
10. Azhar et al
11. Wanjari and Dobariya

12. Koushki et al
13. Kaliba et al
14. Niazi and Painting
15. cost variance
16. cost performance index

منابع (References)

1. Olawale, Y.A. and Sun, M. "Cost and time control of construction projects: inhibiting factors and mitigating measures in practice", *Construction Management and Economics*, **28**(5), pp. 509-526 (2010).
2. Ahmed, S.M., Azhar, S., Castillo, M. and et al. "Construction delays in florida: an empirical study, Final report", Department of Community Affairs, Florida, US (2002).
3. Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M.K. and Buhl, S.L. "What causes cost overrun in transport infrastructure projects", *Transport Reviews*, **24**(1), pp. 3-18 (2004).
4. Odeck, J. "Cost overruns in road construction-what are their sizes and determinants", *Transport policy*, **11**(1), pp. 43-53 (2004).
5. Love, P., Sing, C., Wang, X. and et al. "Overruns in transportation infrastructure projects", *Struct. Infrastruct. Eng.*, **10**(2), pp. 141-159 (2014).
6. Memon, A.H., Rahman, I.A., Zainun, N.Y. and et al. "Web-based risk assessment technique for time and cost overrun (WRATTCO)-A framework", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **129**, pp. 178-185 (2014).
7. Okunlola Ojo, S., Aina, O. and Yakeen Adeyemi, A., "A comparative analysis of the performance of traditional contracting and design-build procurements on client objectives in Nigeria", *Journal of Civil Engineering and Management*, **17**(2), pp. 227-233 (2011).
8. Kazaz, A., Ulubeyli, S. and Tuncbilekli, N. A. "Causes of delays in construction projects in Turkey", *Journal of Civil Engineering and Management*, **18**(3), pp. 426-435 (2012).
9. Dey, P.K., Tabucanon, M.T. and Ogunlana, S. O. "Petroleum pipeline construction planning: a conceptual framework", *International Journal of Project Management*, **14**(4), pp. 231-240 (1996).
10. Derakhshanlavijeh, R. and Teixeira, J.M.C., "Cost overrun in construction projects in developing countries, gas-oil industry of Iran as a case study", *Journal of Civil Engineering and Management*, **23**(1), pp. 125-136 (2017).
11. Parchami Jalal, M. and Shoar, S. "A hybrid SD-DEMATEL approach to develop a delay model for construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, **24**(4), pp. 629-651 (2017).
12. Okpala, D.C. and Aniekwu, A.N. "Causes of high costs of construction in Nigeria", *Journal of Construction Engineering and Management*, **114**(2), pp. 233-244 (1988).
13. Kaming, P.F., Olomolaiye, P.O., Holt, G.D. and et al. "Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia", *Construction Management & Economics*, **15**(1), pp. 83-94 (1997).
14. Jackson, S. "Project cost overruns and risk management", In *Proceedings of Association of Researchers in Construction Management 18th Annual ARCOM Conference*, Newcastle, Northumber University, UK pp. 2-4 (2002).
15. Creedy, G. "Risk factors leading to cost overrun in highway projects", Sidwell, A.C. (Ed.). *Proceeding of Queensland University of Technology Research Week International Conference*, Brisbane, Australia (2005).
16. Frimpong, Y., Oluwoye, J. and Crawford, L. "Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study", *International Journal of Project Management*, **21**(5), pp. 321-326 (2003).
17. Koushki, P.A., Al Rashid, K. and Kartam, N. "Delays and cost increases in the construction of private residential projects in Kuwait", *Construction Management and Economics*, **23**(3), pp. 285-294 (2005).
18. Azhar, N., Farooqui, R.U. and Ahmed, S.M. "Cost overrun factors in construction industry in Pakistan", *Proceeding of first International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDE-1)*, Karachi, Pakistan, 4-5 August 2008 pp. 499-508 (2009).
19. Kaliba, C., Muya, M. and Mumba, K. "Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia", *International Journal of Project Management*, **27**(5), pp. 522-531 (2009).
20. Enshassi, A., Kumaraswamy, M. and Al-Najjar, J. "Significant factors causing time and cost overruns in construction projects in the Gaza Strip: Contractors' perspective", *International Journal of Construction Management*, **10**(1), pp. 35-60 (2010).
21. Niazi, G.A. and Painting, N. "Significant factors causing cost overruns in the construction industry in Afghanistan", *Procedia Engineering*, **182**, pp. 510-517 (2017).
22. Abderisak Adam, "Aggregation of factors causing cost overruns and time delays in large public construction projects Trends and implications", *Eng. Constr. Archit. Manag.* **24**(3), 2017 pp. 393-406 (2017). DOI 10.1108/ECAM-09-2015-0135
23. Alvanchi, A., Lee, S. and AbouRizk, S. "Dynamics of working hours in construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, **138**(1), pp. 66-77 (2011).
24. Serman, J.D. "Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world", (2002).
25. Rodrigues, A. and Bowers, J. "The role of system dynamics in project management", *International Journal of Project Management*, **14**(4), pp. 213-220 (1996).
26. Lin, C.L. and Tzeng, G.H. "A value-created system of science (technology) park by using DEMATEL", *Expert Systems With Applications*, **36**(6), pp. 9683-9697 (2009).
27. Tsai, W.H. and Hsu, W. "A novel hybrid model based on DEMATEL and ANP for selecting cost of quality model development", *Total Quality Management*, **21**(4), pp. 439-456 (2010).
28. Li, C.W. and Tzeng, G.H. "Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum

mean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall”, *Expert Systems with Applications*, **36**(6), pp. 9891-9898 (2009).

29. Memon, A.H., Abdul Rahman, I. and Abdul Azis, A.A. “Preliminaries study on causative factors leading to construction cost overrun”, *Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol*, **2**(1), pp. 57-71 (2011).

30. Rahman, I.A., Memon, A.H. and Karim, A.T.A. “Significant factors causing cost overruns in large construction projects in Malaysia”, *J. Appl. Sci*, **13**(2), pp. 286-293 (2013).

31. Sohu, S., Abd Halid, A., Nagapan, S. and et al. “Causative factors of cost overrun in highway projects of Sindh province of Pakistan”, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng*, **271**(1) (2017).

32. Wanjari, S.P. and Dobariya, G. “Identifying factors causing cost overrun of the construction projects in India”, *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci*, **41**(6), pp. 679-693 (2016).