

شناسایی عوامل موثر بر اثربخشی پروژه‌های آزادراهی در ایران با رویکرد

مشارکت عمومی-خصوصی

(مقایسه روش‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری و یادگیری ماشین)

مقاله علمی - پژوهشی

فرید پارسا، دکتری، گروه مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تهران، تهران، ایران

محمدعلی زاینده رودی*، دانشجوی دکتری، مهندسی عمران گروه راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

نوید ندیمی، دانشیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

محمدرضا رضایی فرد، دانش آموخته دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m_zayandehroodi@cmps2.iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

صفحه ۲۶-۱۱

چکیده

توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل، به‌ویژه آزادراه‌ها، یکی از اولویت‌های اساسی کشورها در دنیای امروز به شمار می‌رود و ایران نیز با چالش‌های متعددی در این زمینه مواجه است. در این مقاله، ابتدا داده‌های مورد نیاز از طریق تحلیل متنی اسناد علمی گردآوری شد. در این فرآیند، متون مرتبط با پروژه‌های آزادراهی از منابع مختلف، شامل مقالات علمی، گزارش‌ها و اسناد تخصصی بررسی شدند تا عوامل کلیدی تأثیرگذار بر مشارکت بخش خصوصی شناسایی شوند. بر اساس این عوامل، یک پرسشنامه طراحی شد که متخصصان و صاحب‌نظران به آن پاسخ دادند. پس از گردآوری داده‌ها، خروجی‌ها از طریق پرسشنامه از افراد خبره مورد بررسی قرار گرفتند. در این مرحله، از دو روش مدل‌سازی معادلات ساختاری و الگوریتم جنگل تصادفی برای تحلیل داده‌ها استفاده شد. این پژوهش با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی معادلات ساختاری، به بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های آزادراهی پرداخته است. مدل‌سازی معادلات ساختاری، به عنوان ابزاری قدرتمند، با استفاده از فرضیات نظری و معادلات رگرسیون چندگانه، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها را در یک مدل پیچیده تحلیل می‌کند. از سوی دیگر، الگوریتم جنگل تصادفی به عنوان یکی از روش‌های پیشرفته یادگیری ماشین، بدون نیاز به فرضیات نظری پیچیده، داده‌ها را تحلیل و نتایج را پیش‌بینی می‌کند. این روش با ایجاد چندین درخت تصمیم‌گیری و ترکیب نتایج آن‌ها، قادر است الگوهای پیچیده و پنهان در داده‌ها را شناسایی کرده و با دقت بیشتری نسبت به مدل‌سازی معادلات ساختاری، عوامل مؤثر را پیش‌بینی کند. نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای مرتبط با قوانین و مقررات و همچنین عوامل مالی و مالیاتی بیشترین تأثیر را بر اثربخشی پروژه‌های آزادراهی دارند. بهبود و تقویت این عوامل می‌تواند به طور قابل توجهی موفقیت و کارآمدی این پروژه‌ها را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: مشارکت عمومی-خصوصی، حمل‌ونقل، متن کاوی، مدل‌سازی معادلات ساختاری

۱-مقدمه

سرمایه‌گذاری در این زمینه نه تنها از طریق بودجه دولتی، بلکه بر اساس مشارکت عمومی و خصوصی می‌شود. تجربه کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد که افزایش سهم خدمات در تولید ناخالص داخلی نشان دهنده سطح بالای رفاه است. در این

تصور رشد اقتصادی پایدار بدون سرمایه‌گذاری دشوار است. در واقع، تنها از طریق مشارکت فعال سرمایه‌گذاری می‌توان به توسعه سریع اقتصاد دست یافت. تقاضای رو به رشد برای خدمات عمومی و زیرساخت‌ها، موجب لزوم تامین مالی

۲- پیشینه تحقیق

توسعه زیرساخت‌ها، به‌ویژه در بخش حمل‌ونقل، نقشی حیاتی در حمایت از رشد اقتصادی، تسهیل تجارت و بهبود کیفیت کلی زندگی شهروندان ایفا می‌کند. با این حال، دولت‌ها اغلب در تامین مالی و مدیریت پروژه‌های زیربنایی بزرگ با چالش‌هایی مواجه هستند. به همین دلیل، مشارکت بخش خصوصی از طریق مدل‌های مختلف مشارکت به‌عنوان یک راه‌حل قابل اجرا مطرح شده است (شهبازی رازلیقی، صبحیه، ۲۰۲۰) (اکبری و هروی، ۲۰۱۹). سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در حمل‌ونقل جاده‌ای و همکاری با دولت در ساخت آزادراه‌ها، رویکردی موثر و قدرتمند برای بهبود زیرساخت‌ها، تقویت رشد اقتصادی و ارتقای سیستم حمل‌ونقل است. ترکیب منابع، تخصص و نوآوری بخش خصوصی با پشتیبانی نظارتی و زیرساخت‌های ارائه شده توسط دولت، می‌تواند پیشرفت‌های چشم‌گیری در توسعه، مدیریت و نگهداری شبکه راه‌ها ایجاد کند (گنجی و همکاران، ۲۰۱۹). سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در حمل‌ونقل جاده‌ای امکان ساخت آزادراه‌های جدید، گسترش شبکه راه‌های موجود و اجرای زیرساخت‌های حمل‌ونقل پیشرفته را فراهم می‌کند. همکاری با دولت تضمین می‌کند که این پروژه‌ها با برنامه‌های توسعه ملی مطابقت داشته، استانداردهای نظارتی را رعایت کرده و از شیوه‌های پایدار پیروی کنند. بخش خصوصی با ارائه منابع مالی قابل توجه، امکان اجرای به‌موقع پروژه‌های حمل‌ونقل را فراهم می‌کند (اسیکی و چان، ۲۰۱۷). با سرمایه‌گذاری در ساخت و نگهداری آزادراه‌ها، بخش خصوصی می‌تواند بار مالی بودجه عمومی را کاهش داده و به تسریع روند توسعه کمک کند (شهبازی و همکاران، ۲۰۲۰).

سرمایه‌گذاری مشترک و مشارکت سهام

سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در آزادراه‌ها همچنین می‌تواند شامل سرمایه‌گذاری مشترک یا مشارکت سهام بین شرکت‌های خصوصی و دولت باشد. در این ترتیبات، هر دو طرف مشارکت مالی دارند و مالکیت، ریسک‌ها و پاداش‌های مرتبط با پروژه را به اشتراک می‌گذارند (لی و همکاران، ۲۰۰۵). سرمایه‌گذاری‌های مشترک امکان تجمع منابع، تخصص و اشتراک ریسک را برای توسعه و بهره‌برداری موفقیت‌آمیز زیرساخت‌های آزادراهی فراهم می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). در جدول ۱ سازوکار برخی دیگر از انواع مشارکت‌ها آورده شده است.

زمینه، خدمات حمل و نقل به عنوان بخش‌های پیش‌رو در تولید و زیرساخت‌های اجتماعی مهم هستند (سیفی‌پور و کاظمی‌مقدم ۱۳۹۱) و (مودروسان و همکاران، ۲۰۲۰). به طور معمول، بودجه عمومی کشور برای احداث زیرساخت‌ها، ساختمان‌ها، و تأسیسات اقتصادی و اجتماعی کافی نیست. به همین دلیل، جذب سرمایه از بخش خصوصی می‌تواند در جبران بخشی از این کمبود نقش موثری داشته باشد. استفاده از سرمایه بخش خصوصی، همراه با مدیریت کارآمد، فرصتی برای ارتقای کیفیت و بهره‌وری در احداث و بهره‌برداری از امکانات عمومی و ارائه خدمات عمومی ایجاد می‌کند. از بخش عمومی انتظار می‌رود بخشی از مدیریت خود را به بخش خصوصی واگذار کند (ایاه بتوی و همکاران، ۲۰۲۰). برای تحقق همکاری بین بخش عمومی و خصوصی در ارائه خدمات عمومی، لازم است چارچوب‌های قراردادی مناسب تدوین و اجرا شود. شیوه‌های همکاری بین بخش عمومی و خصوصی برای ارائه خدمات عمومی می‌تواند متنوع باشد، از سرمایه‌گذاری و مدیریت کامل بخش عمومی گرفته تا سرمایه‌گذاری و مدیریت کامل بخش خصوصی. مفهوم «مشارکت عمومی-خصوصی» یا «واگذاری امتیاز» نیز در این طیف قرار می‌گیرد، که طی آن بخش دولتی امتیاز ارائه خدمات عمومی و احداث تجهیزات مرتبط (با یا بدون بهره‌برداری) را به همراه تأمین مالی به بخش خصوصی واگذار می‌کند (برادران ۱۴۰۱).

قرارداد مشارکت عمومی-خصوصی باید تمام جوانب اقتصادی و حقوقی مختلف را برای امکان‌پذیر نمودن مشارکت بخش خصوصی در طرح‌ها و فعالیت‌های عمومی پوشش دهد. ماهیت بلندمدت قرارداد مشارکت، اقتضا می‌کند که شرایط قرارداد به نحوی تنظیم شود که از یک سو، در طول دوره اجرا از انعطاف لازم برخوردار باشد و از سوی دیگر، توازن لازم بین دو طرف قرارداد حفظ شود (روبرتو و همکاران، ۲۰۱۴)، به گونه‌ای که بخش عمومی اطمینان حاصل کند که خدمات به‌موقع و مطابق با شرایط قرارداد ارائه می‌شوند و سرمایه‌گذار نیز از بازگشت سرمایه و کسب سود مورد انتظار خود اطمینان حاصل کند (محمدرضا ۱۳۹۴) (چهارچوب موافقت‌نامه مشارکت عمومی خصوصی ۱۳۹۳).

جدول ۱. انواع دیگری از مدل‌های مشارکت

عنوان موضوع	ساخت، مالکیت، بهره برداری (BOO)	طراحی، ساخت، مالی، بهره برداری (DBFO)	طراحی، ساخت (DB)	طراحی، پیشنهاد، ساخت (DBB)
چه کسی مشخصات عملکرد را تعریف می‌کند؟	شرکت‌های بخش خصوصی	یک اداره دولتی یا سازمان بخش دولتی	یک اداره دولتی یا سازمان بخش دولتی	یک اداره دولتی یا سازمان بخش دولتی
چه کسی این تاسیسات را طراحی و اجرا می‌کند؟	شرکت‌های بخش خصوصی	بخش دولتی یک پیمانکار یا تیم امتیاز را برای طراحی و ساخت تاسیسات برای برآورده کردن مشخصات عملکرد عمومی با استفاده از یک فرآیند مناقصه رقابتی، معمولاً با هزینه ثابت، استخدام می‌کند.	بخش دولتی یک پیمانکار یا تیم امتیاز را برای طراحی و ساخت تاسیسات برای برآورده کردن مشخصات عملکرد عمومی با استفاده از یک فرآیند مناقصه رقابتی، معمولاً با هزینه ثابت، استخدام می‌کند.	بخش دولتی با تیمی از مشاوران برای طراحی این مرکز همکاری می‌کند. سپس به دنبال پیمانکاری می‌گردند تا آن را مطابق طراحی بسازند.
چه کسی این تسهیلات را تامین مالی می‌کند؟	بخش خصوصی	بخش خصوصی، احتمالاً با پارانه دولتی	بخش دولتی از طریق درآمد مالیاتی، تامین مالی بدهی، اوراق قرضه و غیره.	بخش دولتی از طریق درآمد مالیاتی، تامین مالی بدهی، اوراق قرضه و غیره.
چه کسی تاسیسات را اداره می‌کند؟	بخش خصوصی	این تسهیلات در مدت ۲۵ تا ۵۰ سال به بخش خصوصی اجاره داده شده و توسط آن اداره می‌شود.	کارمندان بخش دولتی معمولاً این تسهیلات را اداره می‌کنند، اما می‌توان آن را با شرکت‌های خصوصی نیز قرارداد.	کارمندان بخش دولتی معمولاً این تسهیلات را اداره می‌کنند، اما می‌توان آن را با شرکت‌های خصوصی نیز قرارداد.
مالک تاسیسات کیست؟	بخش خصوصی	معمولاً بخش دولتی	بخش دولتی	بخش دولتی
چه کسی و چگونه بازده سرمایه گذاری را دریافت می‌کند؟	مالک بخش خصوصی از طریق هزینه‌های کاربر و احتمالاً پارانه‌های دولتی	بخش خصوصی از طریق هزینه‌های کاربر و/یا پرداخت‌های ثابت دولتی در طول عمر قرارداد عملیاتی	بخش عمومی از طریق هزینه‌های کاربر، اما چنین امکاناتی اغلب با ضرر مالی عمل می‌کنند.	بخش عمومی از طریق هزینه‌های کاربر، اما چنین امکاناتی اغلب با ضرر مالی عمل می‌کنند.
چه کسی نرخ عوارض یا هزینه کاربر را کنترل می‌کند؟	مالک بخش خصوصی، مشمول مقررات دولتی	به صورت قراردادی بین بخش دولتی و شرکت خصوصی مذاکره شده است.	بخش دولتی	بخش دولتی

قوانین و مقررات، مالی و مالیاتی، و عملیاتی و فنی بر انتخاب روش تأمین مالی مشاهده می‌شود. بهبود و بهینه‌سازی این عوامل می‌تواند احتمال موفقیت و اثربخشی پروژه‌های آزادراهی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. کمبودهای تحقیقاتی شامل عدم بررسی دقیق تجربیات مشابه در پروژه‌های آزادراهی سایر کشورها و تحلیل مشکلات و موفقیت‌های آن‌ها برای استفاده

یکی از خلأهای تحقیقاتی اصلی این تحقیق، عدم وجود ارزیابی دقیق و کافی در انتخاب روش بهینه تأمین مالی از طریق مشارکت عمومی-خصوصی در پروژه‌های آزادراهی ایران است. این کمبود منجر به انتخاب نامناسب طرفین قرارداد و سردرگمی در دستگاه‌های اجرایی می‌شود (اشتهداردیان و خاندادی و فرشاد، ۱۳۹۳). همچنین، کمبود تحقیقات جامع در مورد تأثیر متغیرهای

متعددی آغاز می‌شود که شامل اسناد، وبسایت‌ها، رسانه‌های اجتماعی، نظرات متخصصان، مقالات علمی و غیره است.

۳-۲- تعیین عوامل مؤثر بر انتخاب قراردادهای مشارکت

روش متن‌کاوی برای تحلیل عوامل مؤثر بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ساخت آزادراه‌ها به کار گرفته می‌شود و از جنبه‌های مختلفی اعمال می‌شود. این روش بر اساس متون مرتبط با حمل‌ونقل جاده‌ای و ساخت آزادراه، اطلاعات مفیدی را برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و بهینه فراهم می‌سازد. یکی از روش‌های مؤثر متن‌کاوی برای این منظور، استفاده از تحلیل محتوای متنی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و پردازش زبان طبیعی است که در این مقاله از این روش برای شناسایی کلمات پرتکرار در متون استفاده شد. تحلیل محتوای قوانین و مقررات مربوط به آزادراه‌ها، اطلاعاتی درباره تغییرات قانونی و سیاست‌های دولتی ارائه می‌دهد. این تحلیل می‌تواند به شناسایی اقدامات دولتی که جذب سرمایه‌گذاری را تسهیل می‌کنند و شرایط مناسبی برای بخش خصوصی فراهم می‌سازند، کمک کند. بررسی متون مرتبط با تاریخچه و تجربیات مشابه در پروژه‌های آزادراهی، اطلاعاتی درباره موفقیت‌ها و مشکلات احتمالی در زمینه سرمایه‌گذاری آینده ارائه می‌دهد. این تجربیات می‌توانند به عنوان درس‌های مهمی برای پروژه‌های آینده مورد استفاده قرار گیرند.

نحوه جمع‌آوری داده

در این مقاله، از پرسشنامه‌ها به عنوان یکی از ابزارهای رایج پژوهش‌های جهت‌گیری استفاده شد. برای جمع‌آوری داده‌ها، فرم پرسشنامه شامل پرسش از افراد متخصص درباره نحوه تاثیرگذاری متغیرهای آشکار موجود جمع‌آوری شده در قسمت متن‌کاوی بر همکاری مطلوب بخش خصوصی با دولتی است. در این پرسشنامه هر یک از این عوامل به تفکیک مورد سوال قرار گرفت و از میزان تاثیرگذاری هر عامل بر همکاری مطلوب بخش خصوصی و دولتی پرسش شد. اطلاعات جمع‌آوری شده در این پرسشنامه‌ها در مدلسازی معادلات ساختاری مورد استفاده قرار گرفت.

بهینه در پروژه‌های داخلی ایران است. این تحلیل می‌تواند به شناسایی اقدامات دولتی که جذب سرمایه‌گذاری را تسهیل می‌کنند و شرایط مناسبی برای بخش خصوصی فراهم می‌سازند، کمک کند (اوسو مانو و همکاران، ۲۰۲۱) (کوکاه و همکاران، ۲۰۲۲).

۳-۳- روش پیشنهادی

هدف از این مقاله، جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب معیارهای اساسی برای تعیین بهترین نوع مشارکت در پروژه‌های آزادراهی با استفاده از روش تحلیل محتوای متنی است. در این روش، با بهره‌گیری از نرم‌افزارها و الگوریتم‌های متن‌کاوی، متون مرتبط با موضوع از منابع مختلفی مانند مقالات علمی، گزارش‌ها، مقررات و قوانین، و مصاحبه‌ها جمع‌آوری می‌شود.

سپس، اطلاعات مفید و الزامات مربوط به مدل‌های مشارکت عمومی-خصوصی استخراج شده و پرسشنامه‌ای طراحی می‌شود تا متخصصان به سوالات مربوط به معیارهای استخراج شده پاسخ دهند. اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت ساختاریافته در مدل‌سازی معادلات ساختاری و روش یادگیری ماشین جنگل تصادفی به کار گرفته می‌شود تا مدل‌های مشارکت عمومی-خصوصی برای پروژه‌های آزادراهی با توجه به عوامل شناسایی شده و میزان اثرگذاری هر یک از این عوامل طراحی شود. این روش قادر است الگوها، مفاهیم کلیدی، و نیازهای مختلف ذی‌نفعان را شناسایی کرده و توصیه‌هایی برای انتخاب بهترین مدل مشارکت در این پروژه‌ها ارائه دهد.

۳-۱- جمع‌آوری داده

در این مقاله، داده‌های مورد نیاز از منابع گوناگونی مانند پژوهش‌ها، گزارش‌ها، و اسناد مرتبط گردآوری شده‌اند. این متون به فرمتی یکسان تبدیل شده‌اند تا به سرعت قابل تجزیه و تحلیل باشند و اطلاعات کلیدی از آن‌ها استخراج شود. در مرحله اول، اسناد مرتبط با پروژه‌های آزادراه جمع‌آوری و مواد متنی مرتبط با انتخاب قراردادهای مشارکت استخراج شده است. این اطلاعات شامل نقاط ضعف و قوت این نوع قراردادها، تجربیات گذشته، و چالش‌های موجود در اجرای پروژه‌های آزادراه می‌باشد. فرآیند متن‌کاوی با گردآوری داده‌های متنی از منابع

۳-۳-مدل‌سازی معادلات ساختاری

پیش‌بینی بسیار بالایی دارد. برخلاف مدل‌سازی معادلات ساختاری که به فرضیات سختگیرانه‌ای درباره روابط بین متغیرها نیازمند است، جنگل تصادفی می‌تواند الگوهای پیچیده‌تر و غیریکسان را در داده‌ها شناسایی کند. همچنین، این روش به دلیل استفاده از تکنیک‌های تصادفی در انتخاب ویژگی‌ها و نمونه‌ها، مقاومت بالایی در برابر بیش‌برازش دارد و می‌تواند داده‌های حجیم و متنوع را به خوبی پردازش کند. در حالی که مدل‌سازی معادلات ساختاری ممکن است در مواجهه با داده‌های بزرگ کارایی کمتری داشته باشد و نتایج آن نیز به دلیل پیچیدگی مدل‌ها دشوارتر قابل تفسیر باشد، جنگل تصادفی نتایجی ساده‌تر و با تفسیر راحت‌تر ارائه می‌دهد. به همین دلایل، جنگل تصادفی به عنوان گزینه بهتری برای تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی عوامل مؤثر بر موفقیت پروژه‌های آزادراهی شناخته شده است.

۴-نتایج

با توجه به توضیحات بخش قبلی، در این بخش به تفسیر و بررسی نتایج متن کاوی و معادلات ساختاری پرداخته می‌شود. در جدول ۲ ویژگی‌های به دست آمده از روش متن کاوی که تاثیرگذار بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ساخت آزادراه هستند، آورده شده است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده شد، بیست عامل تاثیرگذار بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ساخت آزادراه که از نتایج داده کاوی به دست آمد به عنوان عامل‌های آشکار در نظر گرفته شدند. این عامل‌ها در قالب یک پرسشنامه درآمده و از افراد متخصص در این زمینه درخواست شد که به این پرسشنامه‌ها پاسخ دهند. در پرسشنامه از میزان تاثیرگذاری هر یک از این عوامل بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ساخت آزادراه به عنوان یک همکاری مطلوب نظرخواهی شد.

۴-۱-خروجی نتایج معادلات ساختاری

جدول ۳ عامل‌های پنهان و عامل‌های آشکار متصل به هر کدام را مشخص کرد. در این جدول، عوامل پنهان شامل دسته‌بندی‌های کلی "عامل قوانین و مقررات"، "عامل عملیاتی و فنی"، "عامل مدیریتی و سیاسی"، و "عامل مالی و مالیاتی" هستند. هر یک از این عوامل پنهان توسط مجموعه‌ای از عوامل آشکار تعریف می‌شوند که به عنوان شاخص‌هایی برای سنجش و تحلیل این عوامل پنهان به کار می‌روند. به عنوان مثال، "تغییر

مدل‌سازی معادلات ساختاری یک روش آماری است که برای تحلیل نظریه‌های ساختاری مرتبط با برخی پدیده‌ها استفاده می‌شود. این روش، که به طور عمده به عنوان یک روش تحلیل داده‌های چند متغیره شناخته می‌شود، به ویژه در نسل دوم خود قادر است مدل‌های علی خطی و غیرخطی را بر اساس نظریه‌های مورد آزمایش ایجاد کند. معمولاً این نظریه‌ها فرآیندهای علی را نشان می‌دهند که مشاهداتی بر روی متغیرهای متعدد ایجاد می‌کنند (کوکاه و همکاران، ۲۰۲۲). مدل‌سازی معادلات ساختاری دو جنبه مهم را در بر دارد: اولاً، فرآیندهای علی مرتبط با یک سری معادلات ساختاری (مانند رگرسیون) را نمایش می‌دهد، و دوماً، این روابط ساختاری می‌توانند به صورت تصویری مدل شوند تا مفهوم‌سازی واضح‌تری از نظریه مورد مطالعه ارائه دهند. سپس مدل فرضی برای تحلیل همزمان کل سیستم متغیرها آزمایش می‌شود تا میزان سازگاری آن با داده‌ها تعیین گردد. اگر تطابق مناسبی وجود داشته باشد، این مدل به عنوان استدلالی برای معقول بودن روابط فرضی بین متغیرها شناخته می‌شود، اما اگر این تطابق کافی نباشد، پایداری این روابط مورد تردید قرار می‌گیرد (کوکاه و همکاران، ۲۰۲۲).

۴-۳-روش جنگل تصادفی

روش جنگل تصادفی به عنوان یکی از الگوریتم‌های قدرتمند یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌ها معرفی شده است (لیا و وینر، ۲۰۰۲). این روش با ایجاد چندین درخت تصمیم‌گیری و ترکیب نتایج آنها، قادر است الگوهای پیچیده و پنهان در داده‌ها را شناسایی کرده و به پیش‌بینی دقیق‌تری دست یابد (وو و همکاران، ۲۰۲۳). برای این منظور، ابتدا داده‌های مربوط به پروژه‌های آزادراهی جمع‌آوری و سپس با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم جنگل تصادفی نشان داد که متغیرهای قوانین و مقررات، مالی و مالیاتی، و عملیاتی و فنی بیشترین تأثیر را بر انتخاب روش تأمین مالی پروژه‌های آزادراهی دارند. روش جنگل تصادفی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود، با دقت بیشتری نسبت به مدل‌سازی معادلات ساختاری توانسته است روابط میان متغیرها را شناسایی و پیش‌بینی کند. این روش با استفاده از تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری که هر کدام به‌طور مستقل از بخش‌های مختلف داده آموزش می‌گیرند، دقت

در قوانین و "آشنایی با قوانین بین‌المللی" به عنوان عوامل آشکار برای "عامل قوانین و مقررات" معرفی شده‌اند. این جدول به محققان کمک می‌کند تا ساختار روابط بین متغیرهای

مشاهده‌پذیر و مفاهیم نظری را بهتر درک کرده و تأثیرات متقابل آن‌ها را ارزیابی کنید.

جدول ۲. عوامل تاثیرگذار بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ساخت آزادراه

شماره	نام عامل
۱	تغییر در قوانین
۲	آشنایی با قوانین بین‌المللی
۳	مسائل زیست‌محیطی
۴	مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه
۵	استراتژی‌های کاهش ریسک
۶	تعمیر و نگهداری
۷	بازدهی
۸	چگونگی تملک موضوع پروژه
۹	انتخاب بخش خصوصی مناسب
۱۰	بهره‌مندی از تعهدات سیاسی و قانونی کافی
۱۱	بیمه‌های مربوطه
۱۲	اخذ وام بانکی

جدول ۳. عامل‌های پنهان و آشکار

عامل‌های آشکار	عامل‌های پنهان
تغییر در قوانین	عامل قوانین و مقررات
آشنایی با قوانین بین‌المللی	
مسائل زیست‌محیطی	عامل عملیاتی و فنی
مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه	
استراتژی‌های کاهش ریسک	
تعمیر و نگهداری	
بازدهی	
چگونگی تملک موضوع پروژه	عامل مدیریتی و سیاسی
انتخاب بخش خصوصی مناسب	
بهره‌مندی از تعهدات سیاسی و قانونی کافی	
بیمه‌های مربوطه	عامل مالی و مالیاتی
اخذ وام بانکی	
اثر بخشی مشارکت عمومی-خصوصی	همکاری مطلوب

۴-۲- خروجی نتایج روش جنگل تصادفی

اهمیت ویژگی‌ها

پنهان مربوطه نشان می‌دهند. این جدول نشان می‌دهد که متغیر "تغییر در قوانین" با مقدار ۰,۲۲ بیشترین اهمیت را در مدل جنگل تصادفی داشته است، مشابه با آنچه در مدل معادلات ساختاری تحت عنوان بار عاملی با ضریب معناداری ارائه می‌شود.

جنگل تصادفی، اهمیت هر ویژگی را با محاسبه میزان کاهش خطا در نتیجه استفاده از آن ویژگی در تصمیم‌گیری، تعیین می‌کند. این مقدار به عنوان درصدی از کل کاهش خطا محاسبه می‌شود. این مقادیر مشابه با "بارهای عاملی" در مدل معادلات ساختاری هستند که میزان تأثیر هر متغیر مشاهده شده را بر متغیر

میزان اهمیت	متغیرها
۰//۲۲	تغییر در قوانین
۰/۱۵	آشنایی با قوانین بین‌المللی
۰/۱۳	مسائل زیست‌محیطی
۰/۱۲	مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه
۰/۱۰	استراتژی‌های کاهش ریسک
۰/۰۹	تعمیر و نگهداری
۰/۰۸	بازدهی
۰/۰۶	چگونگی تملک موضوع پروژه
۰/۰۴	انتخاب بخش خصوصی مناسب

عامل است. مقادیر بار عاملی کمتر از ۰/۳ به عنوان رابطه ضعیف در نظر گرفته می‌شوند، بین ۰/۳ تا ۰/۶ به عنوان قابل قبول، و اگر بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، ایده‌آل است. برای ارزیابی روایی و پایایی مدل از ضرایب روایی همگرا، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده می‌شود. در جدول ۴ مقادیر این معیارها برای مدل ساخته شده آورده شده است. شاخص آلفای کرونباخ به میزان پایداری (سازگاری) درونی یک آزمون اشاره می‌کند. ضرایب بالای ۰/۶ قابل قبول محسوب می‌شوند. جدول ۴ نتایج ارزیابی مدل را بر اساس بارهای عاملی و ضریب معناداری T ارائه می‌دهد. این جدول شامل لیستی از عوامل آشکار و پنهان است که به هر یک از آن‌ها یک بار عاملی و ضریب معناداری اختصاص داده شده است. بارهای عاملی نشان‌دهنده میزان تأثیر هر متغیر آشکار بر عامل پنهان مربوطه است. ضریب معناداری T نیز نشان می‌دهد که آیا این تأثیرات به لحاظ آماری معنادار هستند یا خیر. مقادیر بالاتر از ۱,۹۶ برای ضریب T معمولاً به عنوان نشانه‌ای از معناداری در سطح ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳- ارزیابی مدل

برای تدوین مدل ساختاری، ابتدا با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی، عامل‌های آشکار و پنهان را شناسایی و روابط بین آنها مشخص می‌شود. در بررسی رابطه بین سازه‌ها و برازش مدل ساختاری، از معیارهای ضرایب معناداری T استفاده می‌شود. سپس با محاسبه مقادیر T معتبر، معناداری ضرایب مسیرها تعیین می‌شود. اگر مقادیر T برای ضرایب مسیرها بیشتر از ۲/۹۶، ۱/۹۶ و ۱/۶۴۵ باشد، به ترتیب نشان‌دهنده صحت رابطه بین سازه‌ها و تأیید فرضیه‌های پژوهش در سطوح اطمینان ۹۹٪، ۹۵٪ و ۹۰٪ می‌باشد. برای اندازه‌گیری قدرت رابطه بین عوامل پنهان و عامل‌های قابل مشاهده (آشکار)، بارهای عاملی محاسبه می‌شوند. این بارها نشان‌دهنده تأثیر هر یک از عامل‌های قابل مشاهده در تعیین یک عامل پنهان است. هرچه مقدار بار عاملی بیشتر باشد، تأثیر آن عامل آشکار در تبیین عامل پنهان مربوطه بیشتر است. اگر بار عاملی مثبت باشد، نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن عامل آشکار است و اگر منفی باشد، نشان‌دهنده تأثیر منفی آن

جدول ۴. ارزیابی مدل توسط بار عاملی و ضریب معناداری

عوامل پنهان	عوامل آشکار	بار عاملی	ضریب معناداری T
عامل قوانین و مقررات	تغییر در قوانین	۰/۸۶۳	۴/۷۵۹
	آشنایی با قوانین بین‌المللی	۰/۶۲۸	۲/۳۰۰
عامل عملیاتی و فنی	مسائل زیست‌محیطی	۰/۶۲۴	۳/۱۴۵
	مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه	۰/۶۳۶	۴/۶۷۸
	استراتژی‌های کاهش ریسک	۰/۹۱۹	۵/۳۷۶
	تعمیر و نگهداری	۰/۹۴۸	۲۶/۲۱۶
	بازدهی	۰/۸۶۴	۱۳/۳۵۴
عامل مدیریتی و سیاسی	چگونگی تملک موضوع پروژه	۰/۷۳۹	۲/۸۷۳
	انتخاب بخش خصوصی مناسب	۰/۷۹۲	۱۱/۵۹۴
	موانع نظارتی	۰/۶۳۵	۳/۶۳۵
	بهره‌مندی از تعهدات سیاسی و قانونی کافی	۰/۶۷۴	۱۶/۵۹۴
عامل مالی و مالیاتی	بیمه‌های مربوطه	۰/۷۹۸	۱/۹۶۷
	اخذ وام بانکی	۰/۶۵۲	۱/۵۲۴
همکاری مطلوب	اثر بخشی مشارکت عمومی-خصوصی	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰

به عبارت دیگر، اگر یک عامل روایی واگرایی بالایی داشته باشد، به معنای این است که سوالات مرتبط با آن عامل به خوبی از آن تفکیک و تمیز داده شده‌اند و نتایج بدست آمده از آن عامل به معنای روایی واگرا هستند. از این رو، ماتریس مورد استفاده در اینجا برای بررسی این موارد و تشخیص روایی واگرایی در عامل‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۵ به ارزیابی روایی و پایایی مدل پرداخته است. در این جدول، سه معیار مهم مورد بررسی قرار گرفته‌اند: آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی، و روایی همگرا. آلفای کرونباخ معیاری برای اندازه‌گیری میزان سازگاری درونی ابزارهای اندازه‌گیری است. پایایی ترکیبی نشان‌دهنده قابلیت اعتماد به اندازه‌گیری‌های مدل است. روایی همگرا نیز به ارزیابی میزان سازگاری یک متغیر پنهان با شاخص‌های آشکار مرتبط می‌پردازد. این جدول نشان می‌دهد که مدل مورد استفاده از نظر پایایی و روایی از کیفیت مناسبی برخوردار است.

جدول ۵. ارزیابی روایی و پایایی

عوامل پنهان	روایی همگرا	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی
عامل قوانین و مقررات	۰/۶۴۱	۰/۷۳۵	۰/۸۳۴
عامل عملیاتی و فنی	۰/۵۹۳	۰/۷۶۸	۰/۸۸۲
عامل مدیریتی و سیاسی	۰/۵۸۶	۰/۶۲۲	۰/۷۹۳
عامل مالی و مالیاتی	۰/۷۶۹	۰/۶۴۹	۰/۷۷۶
همکاری مطلوب	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

معادلات ساختاری	جنگل تصادفی	
۰/۷۵	۰/۸۹	دقت پیش‌بینی

دقت مدل

دقت کلی مدل جنگل تصادفی بر اساس مقایسه پیش‌بینی‌ها با داده‌های واقعی محاسبه می‌شود. این معیار مشابه با شاخص‌های برازش مدل در مدل معادلات ساختاری است.

به عبارت دیگر، اگر یک عامل روایی واگرایی بالایی داشته باشد، به معنای این است که سوالات مرتبط با آن عامل به خوبی از آن تفکیک و تمیز داده شده‌اند و نتایج بدست آمده از آن عامل به معنای روایی واگرا هستند. از این رو، ماتریس مورد استفاده در اینجا برای بررسی این موارد و تشخیص روایی واگرایی در عامل‌ها استفاده می‌شود.

جدول ۶، ماتریسی است که توسط فورنل و لارکر برای بررسی روایی واگرا به کار می‌رود. این ماتریس برای تمایز و تفکیک میان عامل‌های پنهان باید این ویژگی را داشته باشد که هر عامل توانایی تمیز و تفکیک بیشتری در بین سوالات خود را داشته باشد. این به این معناست که هر عامل باید با سوالاتی که به آن مرتبط است، بهترین تطابق را داشته باشد و ارتباط مثبتی با آنها داشته باشد. این ارتباط می‌تواند توسط ضرایب روایی محاسبه شود.

جدول ۶. ماتریس فورنل و لارکر

عوامل	همکاری مطلوب	عامل عملیاتی و فنی	عامل مدیریتی و سیاسی	عامل مالی و مالیاتی	عامل قوانین و مقررات
همکاری مطلوب	۱/۰۰۰				
عامل عملیاتی و فنی	۰/۲۵۴	۰/۷۶۳			
عامل مدیریتی و سیاسی	۰/۱۲۸	۰/۳۶۵	۰/۸۵۶		
عامل مالی و مالیاتی	۰/۳۷۹	۰/۲۲۷	۰/۱۹۸	۰/۸۴۴	
عامل قوانین و مقررات	۰/۴۰۹	-۰/۰۱۴	۰/۰۴۸	-۰/۰۰۱	۰/۹۱۶

۵- نتیجه‌گیری

ایران نیز، مواجهه با کمبودهای مالی در بخش دولتی و نیز عدم سرعت و کیفیت در احداث آزادراه‌ها به چالش‌های قابل توجهی تبدیل شده است. به منظور بهبود این وضعیت، نیاز است که بخش خصوصی با سرمایه‌گذاری در این زمینه به عنوان یک شریک واجد توانمندی‌های فنی و مالی، فرآیند احداث آزادراه‌ها را تسریع و بهبود بخشد. برای ایجاد همکاری موثر بین بخش‌های عمومی و خصوصی، لازم است که عوامل تاثیرگذار بر این مشارکت‌ها شناسایی شوند. با شناخت دقیق این عوامل و ایجاد شرایط مناسب برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، امکان افزایش مشارکت آن در احداث آزادراه‌ها فراهم خواهد شد. در این مقاله ابتدا سعی شده تا موثرترین عوامل بر مشارکت عمومی - خصوصی با استفاده از تکنیک‌های متن کاوی شناسایی شود. در مرحله بعد با ایجاد پرسشنامه و استفاده از مدل معادلات ساختاری به بررسی نحوه اثرگذاری متغیرها بر ایجاد یک همکاری مطلوب بین بخش خصوصی با دولتی در احداث

سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در احداث آزادراه‌ها امری اساسی در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورهاست. این نوع ارتقا از طریق همکاری‌های عمومی و خصوصی امکان‌پذیر می‌شود و دارای اهمیت بالایی در بهبود شبکه حمل‌ونقل و افزایش رفاه عمومی است. از آنجایی که احداث و نگهداری آزادراه‌ها نیاز به سرمایه‌گذاری گسترده و طولانی‌مدت دارد، حضور بخش خصوصی با ارائه منابع مالی و فنی لازم، تسهیل‌کننده این فرآیند مهم است. یکی از اصلی‌ترین دلایل لزوم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در احداث آزادراه‌ها، افزایش سرعت و کیفیت اجرای پروژه‌هاست. بخش خصوصی از طریق استفاده از تجربیات و منابع خود، می‌تواند باعث بهبود فرآیند ساخت و بهره‌برداری شود. علاوه بر این، حضور این بخش بهبود اقتصادی را نیز تسهیل می‌دهد؛ زیرا ایجاد زیرساخت‌های موثر و کارآمد، رشد اقتصادی را تحریک می‌کند و اشتغالزایی در بخش‌های مختلف را افزایش می‌دهد. در حال حاضر، در کشور

داده‌ها، هدف پژوهش و نیاز به دقت پیش‌بینی‌ها می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به تعیین عامل‌های پنهان شامل: قوانین و مقررات، متغیرهای عملیاتی و فنی، متغیرهای مدیریتی و سیاسی، متغیرهای مالی و مالیاتی، و اثربخشی می‌توان به نتیجه‌گیری‌های به دست آمده در ادامه رسید.

تأثیر موفقیت پروژه‌های آزادراهی در ایران به طور قابل توجهی به اجرایی شدن یک سری اقدامات و تدابیر در هر یک از این دسته‌ها وابسته است. عامل قوانین و مقررات مرتبط با ایجاد بستر قانونی و حقوقی مناسب برای مشارکت دولت و بخش خصوصی، و عامل مالی و مالیاتی که شامل تأمین منابع مالی، مالیات‌ها و تسهیلات مالی است، بیشترین تأثیر در اثربخشی مشارکت بخش خصوصی با نهاد دولتی در ساخت آزادراه را دارند. همچنین تأثیر عامل مالی و مالیاتی با فراهم نمودن اخذ وام‌های بانکی برای بخش خصوصی می‌تواند در اثربخشی مشارکت بخش خصوصی با نهاد دولتی تأثیر قابل توجهی داشته باشد. در بحث عامل مالی و مالیاتی، اخذ وام بانکی و همچنین در عامل عملیاتی و فنی، تعمیر و نگهداری می‌توانند از جمله عوامل عدم موفقیت در اثر بخشی مشارکت بخش خصوصی با نهاد دولتی باشند. لازم به ذکر است، که تغییر در قوانین به سمت ساده‌تر شدن و تسهیل فرآیند همکاری بین بخش خصوصی و دولتی، می‌تواند اثربخشی همکاری را افزایش دهد. همچنین توجه به مسائل زیست‌محیطی و اتخاذ تدابیر مناسب برای حفاظت از محیط زیست، می‌تواند اعتبار و تأییدیه اجتماعی پروژه را افزایش دهد. اگر در عامل پنهان عملیاتی و فنی، عامل آشکار مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه بهبود یابد، احتمال موفقیت پروژه‌های آزادراهی در ایران به شدت افزایش می‌یابد و تأثیر بخشی این پروژه‌ها نیز برای جامعه بهبود می‌یابد. در عوامل مدیریتی و سیاسی، انتخاب بخش خصوصی مناسب و همچنین بهره‌مندی از تعهدات سیاسی و قانونی کافی تأثیر بسیار زیادی بر نحوه مشارکت مطلوب طرفین دارد.

آزادراه‌ها پرداخته شده است. جنگل تصادفی و مدل‌سازی معادلات ساختاری دو روش متفاوت برای تحلیل عوامل مؤثر پروژه‌های آزادراهی شامل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدل‌سازی معادلات ساختاری به‌طور سنتی به‌عنوان یک روش آماری برای بررسی روابط علی و ساختاری بین متغیرها شناخته می‌شود. این روش با استفاده از فرضیات نظری و معادلات رگرسیون چندگانه، به شناسایی و تأیید روابط علی بین متغیرهای مشاهده‌شده و متغیرهای پنهان می‌پردازد. مدل معادلات ساختاری قادر است به‌طور همزمان تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها را در یک مدل پیچیده بررسی کند و از این نظر یک ابزار قدرتمند برای تحلیل داده‌های پیچیده است. از سوی دیگر، روش جنگل تصادفی به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین شناخته می‌شود که بدون نیاز به فرضیات سختگیرانه نظری، می‌تواند به تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی نتایج بپردازد. این روش با ایجاد چندین درخت تصمیم‌گیری و ترکیب نتایج آنها، قادر است الگوهای پیچیده و پنهان در داده‌ها را شناسایی کند و با دقت بالاتری نسبت به مدل معادلات ساختاری به پیش‌بینی عوامل مؤثر بپردازد. جنگل تصادفی به دلیل استفاده از تکنیک‌های تصادفی در انتخاب ویژگی‌ها و نمونه‌ها، مقاومت بالایی در برابر بیش‌برازش دارد و می‌تواند داده‌های حجیم و متنوع را به خوبی پردازش کند. در نهایت، هر دو روش دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند. مدل معادلات ساختاری به‌طور کلی برای تحلیل روابط علی و تأیید فرضیات نظری مناسب است، اما ممکن است در مواجهه با داده‌های بزرگ و پیچیده دچار محدودیت شود. در مقابل، جنگل تصادفی به دلیل انعطاف‌پذیری و توانایی پردازش داده‌های بزرگ، گزینه مناسبی برای تحلیل داده‌هایی است که فاقد فرضیات نظری مشخص هستند یا زمانی که نیاز به پیش‌بینی دقیق‌تر نتایج وجود دارد. انتخاب بین این دو روش بسته به نوع

۶- مراجع

-برادران، وحید (۱۴۰۱). قیمت‌گذاری عوارض آزادراه‌ها با توسعه مدل‌های اقتصادی در شرایط عدم قطعیت. ۸۳-۱۰۴.
-چهارچوب موافقت‌نامه مشارکت عمومی خصوصی (۱۳۹۳).
-معاونت نظارت راهبردی امور نظارت بودجه سرمایه‌ای.
-سیفی‌پور، رویا، هدی، کاظمی مقدم (۱۳۹۱). تأثیر سرمایه‌گذاری

-اشتهاردیان، احساناله، مصطفی، خانزادی و حسین، فرشاد (۱۳۹۳). تعیین میزان ریسک عدم قطعیت‌های موجود در قراردادهای آزادراهی به روش BOT با استفاده از روش‌های آماری (مطالعه موردی: آزادراه ساوه-سلفچگان). مهندسی عمران شریف، ۳۱(۲): ۳-۸.

- Li, Bing, A. Akintoye, Peter J. Edwards, and C. Hardcastle (2005). Critical Success Factors for PPP/PFI Projects in the UK Construction Industry. *Construction Management and Economics* 23(5), 459–471.
- Liaw, Andy, and Matthew Wiener. (2002) Classification and Regression by RandomForest. *R Journal* 2(3): 18–22.
- Modrusan, Nikola, Kornelije Rabuzin, and Leo Mrcic (2020). Improving Public Sector Efficiency Using Advanced Text Mining in the Procurement Process. *DATA 2020 Proceedings of the 9th International Conference on Data Science, Technology and Applications (Data)*, 200–206.
- Osei-Kyei, Robert, and Albert P.C. Chan. (2017). Implementing Public–Private Partnership (PPP) Policy for Public Construction Projects in Ghana: Critical Success Factors and Policy Implications. *International Journal of Construction Management* 17(2): 113–23.
- Owusu-Manu, De Graft et al., (2021). Exploring Strategies to Reduce Moral Hazard and Adverse Selection of Ghanaian Public–Private Partnership (PPP) Construction Projects. *Journal of Engineering, Design and Technology* 19(2), 358–372.
- Robert, Osei Kyei, Ayirebi Dansoh, and J. K. Ofori-Kuragu. (2014). Reasons for Adopting Public-Private Partnership (PPP) for Construction Projects in Ghana. *International Journal of Construction Management* 14(4). 227–238.
- Wu, Zhenxi, Aditi Misra, and Shan Bao. (2023). Modeling Pedestrian Injury Severity : A Case Study of Using Extreme Gradient Boosting Vs Random Forest in Feature Selection.
- Zhang, Yan Chun et al., (2020). Systematic Analysis of PPP Research in Construction Journals: From 2009 to 2019. *Engineering, Construction and Architectural Management* 27(10). 3309–3339.
- زیر بنایی بر رشد اقتصادی (مطالعه موردی حمل و نقل باری – جاده‌ای).
- شهبازی رازلیقی، صبحیه (۲۰۲۰). مدل همکاری بخش خصوصی با بخش دولتی در پروژه‌های ساخت، بهره‌برداری و انتقال آزادراهی ایران (مطالعه موردی). *مهندسی عمران*، ۳۶ (۳،۲) ۱۵۷–۱۴۷.
- شهبازی رازلیقی، صبحیه و دانائی فرد، حسن (۲۰۲۰). موانع تشریح مساعی مطلوب بخش دولتی و غیردولتی در پروژه‌های ساخت، بهره‌برداری و انتقال آزادراهی ایران. *مهندسی سازه و ساخت*. ۷ (شماره ویژه ۳).
- گنجی‌زهرایی، هادی (۲۰۱۹). ارایه مدل مدیریت ریسک درآمدی در پروژه‌های مشارکتی آزادراهی ایران. *پژوهشنامه حمل و نقل*. ۱۶ (۱)، ۲۶۹–۲۵۹.
- گلابچی، محمدرضا (۱۳۹۴). انتخاب روش مناسب مشارکت خصوصی – دولتی به منظور تامین مالی پروژه‌های آزادراه ایران با رویکرد AHP. *مجله مهندسی عمران*. ۵۳۰–۵۲۳.
- Akbari Ahmadabadi, Ali, and Gholamreza Heravi. (2019) Risk Assessment Framework of PPP. Megaprojects Focusing on Risk Interaction and Project Success. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 124(August 2018): 169–88. doi.org/10.1016/j.tra.2019.03.011
- Eyiah-Botwe, Emmanuel, Clinton O. Aigbavboa, and Wellington Didibhuku Thwala. (2020). Curbing PPP Construction Projects' Failure Using Enhanced Stakeholder Management Success in Developing Countries. *Built Environment Project and Asset Management* 10(1), 50–63.
- Kukah, Augustine Senanu Komla, De-Graft Owusu-Manu, Edward Badu, and Eric Asamoah (2022). Structural Equation Model (SEM) for Evaluating Interrelationships among Risks Inherent in Ghanaian Public–Private Partnership (PPP) Power Projects. *Engineering, Construction and Architectural Management* ahead-of-p(ahead-of-print). doi.org/10.1108/ECAM-10-2022-0943

پیوست

<p>لطفاً درجه تأثیر متغیرهای زیر بر مشارکت بخش خصوصی با نهادهای دولتی در احداث آزادراه را بر اساس تجربه و دیدگاه خود ارزیابی کنید. هر یک از متغیرها را از ۱ تا ۵ ارزیابی کنید، که ۱ نشان دهنده تأثیر کم و ۵ نشان دهنده تأثیر بسیار زیاد است</p>	
<p>تأثیر در قوانین</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	
<p>آشنایی با قوانین بین‌المللی</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	
<p>مسائل زیست‌محیطی</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	
<p>مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	
<p>میزان اجرایی بودن تضمین‌های دولتی</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	
<p>تورم در هزینه‌های بهره‌برداری</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	

<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>تأمین کیفیت و استانداردها</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>استراتژی‌های کاهش ریسک</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>تعمیر و نگهداری</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>بازدهی</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>چگونگی تملک موضوع پروژه</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>انتخاب بخش خصوصی مناسب</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>توزیع نامناسب اختیارات و مسئولیت‌ها بین طرفین</p>

<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>وجود تقاضای کافی برای محصول نهایی پروژه</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>موانع نظارتی</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>بهره‌مندی از تعهدات سیاسی و قانونی کافی</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>بیمه‌های مربوطه</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>اخذ وام بانکی</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>عدم پرداخت صورت حساب به دلایل منتسب به دولت</p>
<p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر کم</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر متوسط</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر زیاد</p> <p><input type="checkbox"/> تأثیر بسیار زیاد</p>	<p>مشوق‌های مالی</p>

Identifying Factors Affecting the Effectiveness of Freeway Projects in Iran with a Public-Private Partnership (Approach: Comparison of Structural Equation Modeling and Machine Learning Methods)

*Farbad Parsa, Ph.D., Grad., Department of Management and Economics,
University of Tehran, Tehran, Iran.*

*Mohammad Zayandehroodi, Ph.D., Student, School of Civil Engineering, Iran University
of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Navid Nadimi, Associate Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar
University of Kerman, Kerman, Iran.*

*Mohammadreza Rezaeifard, Ph.D., Grad., Department of Agricultural Economics,
Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.*

E-mail: m_zayandehroodi@cmps2.iust.ac.ir

Received: January 2025- Accepted: April 2025

ABSTRACT

The development of transportation infrastructure, particularly highways, is one of the fundamental priorities for countries in today's world, and Iran also faces multiple challenges in this area. In this study, the necessary data were initially gathered through text mining of scientific documents. In this process, texts related to highway projects were analyzed from various sources, including scientific articles, reports, and specialized documents, to identify the key factors influencing private sector participation. Based on these factors, a questionnaire was designed and distributed to experts and stakeholders for their input. After collecting the responses, the data from the questionnaires were analyzed. At this stage, two methods—Structural Equation Modeling (SEM) and the Random Forest algorithm—were employed for data analysis. This study utilizes machine learning methods and Structural Equation Modeling to examine the factors influencing private sector participation in highway projects. SEM, as a powerful tool, analyzes both direct and indirect effects of variables within a complex model using theoretical assumptions and multiple regression equations. On the other hand, the Random Forest algorithm, as an advanced machine learning method, analyzes data and predicts outcomes without requiring strict theoretical assumptions. By creating multiple decision trees and combining their results, this method can identify complex and hidden patterns in the data and predict influential factors with greater accuracy than SEM. The findings indicate that variables related to laws and regulations, as well as financial and tax factors, have the most significant impact on the effectiveness of highway projects. Improving and strengthening these factors can substantially increase the success and efficiency of these projects.

Keywords: Public Private Partnership, Transportation, Text Mining, Structural Equation Modeling