

انتخاب سامانه حکمرانی تحول دیجیتال برای نظام اعتباردهی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون (واسنجی) با استفاده از خانواده روش‌های ELECTRE

محمدحسین کریمی گوارشکی^۱، مصطفی تمناجی^۲، روح اله درزی^{۳*}

۱ هیئت علمی مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۲ هیئت علمی مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. **سابقه مقاله**

۳ دانشجوی دکتری رشته مدیریت استاندارد و کیفیت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۷

چکیده

نظام اعتباردهی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون (واسنجی) به عنوان یکی از ارکان اصلی زیرساخت کیفیت، در سال‌های اخیر با ضرورت تحول دیجیتال و استقرار سامانه‌های حکمرانی دیجیتال مواجه شده است. با این حال، انتخاب سامانه مناسب به دلیل وجود معیارهای متعدد و متعارض، یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، انتخاب مناسب‌ترین سامانه حکمرانی تحول دیجیتال برای نظام اعتباردهی با استفاده از خانواده روش‌های تسلط تقریبی ELECTRE است. در این پژوهش، ۸ گزینه سامانه‌ای در ۸ معیار اصلی با بهره‌گیری از نظر ۱۰ نفر از خبرگان حوزه اعتباردهی و تحول دیجیتال در یک نهاد اعتباردهی (موردکاوی) ارزیابی شده. تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های ELECTRE I, II, III, IV و همچنین روش‌های SAW و TOPSIS برای اعتبارسنجی انجام شد. به منظور دستیابی به یک رتبه‌بندی اجماعی، از روش میانگین رتبه‌ها برای تلفیق نتایج روش‌های مختلف استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که گزینه «رهبری و حمایت مدیریتی» با میانگین رتبه ۱/۱۷ در رتبه اول و گزینه‌های «یکپارچگی فرایندهای اعتباردهی» و «شفافیت و قابلیت ردیابی فرایندهای اعتباردهی» با میانگین رتبه ۲، در رتبه دوم مشترک قرار گرفته‌اند. همچنین، روش ELECTRE III به دلیل توانایی در مدیریت عدم قطعیت از طریق آستانه‌های بی‌تفاوتی، ترجیح و وتو، نتایج قابل اعتمادتری نسبت به سایر روش‌ها ارائه داده است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند راهنمای عملی برای نهادهای اعتباردهی در انتخاب سامانه‌های حکمرانی دیجیتال باشد.

کلیدواژه‌ها: تحول دیجیتال، اعتباردهی آزمایشگاه، تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)، ELECTRE

¹ Mh.karimi@mut.ac.ir

² Tamtaji@gmail.com

³ roholahdarzi@gmail.com

۱ مقدمه

۱-۱ بیان مسئله

در دهه های اخیر، فناوری های دیجیتال به یکی از مهم ترین محرک های تحول در سازمان های دولتی و خصوصی تبدیل شده اند. ظهور فناوری هایی نظیر هوش مصنوعی^۱، کلان داده^۲، اینترنت اشیا^۳ و رایانش ابری^۴ موجب شده تا بسیاری از فرایندهای سنتی مدیریتی بازطراحی شوند و مفهوم «تحول دیجیتال»^۵ به یکی از محورهای اصلی توسعه سازمانی تبدیل شود (وایل، ۲۰۱۹). در این میان، نهادهای فعال در زیرساخت کیفیت^۶ شامل سازمان های استاندارد، نهادهای اعتباردهی، آزمایشگاه های آزمون و کالیبراسیون (واسنجی) و سازمان های ارزیابی انطباق نیز با الزامات جدیدی مواجه شده اند. افزایش حجم اطلاعات، رشد انتظارات ذی نفعان، پیچیدگی فرایندهای ارزیابی و ضرورت پاسخگویی سریع و شفاف، این سازمان ها را به سمت بهره گیری از سامانه های دیجیتال و مدل های نوین حکمرانی سوق داده است (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۷، ۲۰۲۰). مطالعات بین المللی نشان می دهد که تحول دیجیتال زیرساخت کیفیت، یکی از چالش های اصلی در بافت صنعت^۴ محسوب می شود و نهادهای اعتباردهی در سراسر جهان در حال توسعه استفاده از ابزارهای دیجیتال برای بررسی اسناد و ارزیابی های از راه دور هستند (همکاری بین المللی در زمینه اعتباردهی آزمایشگاه، ۲۰۲۴؛ همکاری اروپایی در زمینه اعتباردهی، ۲۰۲۴).

نظام اعتباردهی^۸ آزمایشگاه های آزمون و کالیبراسیون (واسنجی) به عنوان یکی از ارکان اصلی زیرساخت کیفیت، نقش تعیین کننده ای در تضمین قابلیت اعتماد نتایج آزمون و کالیبراسیون (واسنجی)، حمایت از تجارت بین الملل و افزایش اعتماد عمومی ایفا می کند. بر اساس استاندارد ایزو-آی.ای.سی ۱۷۰۱۱، اعتباردهی عبارت است از «تأیید رسمی توسط یک نهاد اعتباردهی مبنی بر اینکه یک نهاد ارزیابی انطباق صلاحیت انجام فعالیت های مشخص را دارا است». این

¹ Artificial Intelligence (AI)

² Big Data

³ Internet of Things

⁴ Cloud Computing

⁵ Digital Transformation

⁶ Quality Infrastructure

⁷ Organization for Economic Development and Cooperation (OECD)

⁸ Accreditation System

استاندارد از سال ۲۰۱۷ امکان ارزیابی از راه دور^۱ را تعریف کرده است و نهادهای اعتباردهی در حال توسعه استفاده از ابزارهای دیجیتال برای بررسی اسناد و ارزیابی‌های از راه دور هستند (ایزو-آی.ای.سی ۲۰۱۷: ۱۱۰۱۷). همچنین، همکاری اروپایی در زمینه اعتباردهی^۲ تأکید دارد که نهادهای اعتباردهی باید برای تطبیق با فناوری‌های نوین نظیر شبکه‌های حسگر هوشمند، کنترل کیفیت مبتنی بر هوش مصنوعی، بازرسی‌های مجازی و زنجیره بلوکی^۳ برای ردیابی گواهینامه‌ها، مرزهای دلنش خود را گسترش دهند (همکاری اروپایی در زمینه اعتباردهی، ۲۰۲۴).

با وجود این ضرورت‌ها، انتخاب یک سامانه مناسب برای حکمرانی تحول دیجیتال^۴، تصمیمی پیچیده است که تحت تأثیر معیارهای متعدد و گاه متعارضی قرار دارد (بلتون و استوارت، ۲۰۰۲). از این رو، بهره‌گیری از روش‌های علمی تصمیم‌گیری چندمعیاره^۵ و به طور خاص، روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه^۶ مانند خانواده ELECTRE^۷، برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه ضروری به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر، بسیاری از نهادهای اعتباردهی در جهان به سمت دیجیتالی‌سازی فرایندهای خود حرکت کرده‌اند. به عنوان نمونه، شورای اعتباردهی تونس^۸ با حمایت مؤسسه ملی اندازه‌شناسی آلمان^۹، سامانه جامعی برای مدیریت فرایندهای اعتباردهی پیاده‌سازی کرده است. همچنین، شورای کیفیت و انطباق ابوظبی سامانه متمرکز دیجیتال یکپارچه «Mawthooq» را راه‌اندازی کرده است. در ایران، نهادهای اعتباردهی با چالش انتخاب سامانه مناسب برای تحول دیجیتال مواجه هستند و تاکنون پژوهشی جامع با استفاده از روش‌های تسلط تقریبی برای این منظور انجام نشده است.

پژوهش حاضر به عنوان موردکاوی در یک نهاد اعتباردهی پیشرو در ایران (با پوشش بیش از ۱۵۰ آزمایشگاه و شبکه ۱۰۰ نفره ارزیابان) طراحی شده است. هدف اصلی این پژوهش، انتخاب مناسب‌ترین سامانه حکمرانی تحول دیجیتال برای نظام اعتباردهی با استفاده از خانواده روش‌های

^۱ Remote Assessment

^۲ European co-operation for Accreditation (EA)

^۳ blockchain

^۴ Digital Transformation Governance

^۵ Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

^۶ Multiple Attribute Decision Making (MADM)

^۷ ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE)

^۸ Tunisia National Accreditation Council (TUNAC)

^۹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

ELECTRE است. در این راستا، پژوهش سعی دارد به پرسش‌های زیر پاسخ دهد: (۱) مهم‌ترین معیارهای انتخاب سامانه حکمرانی تحول دیجیتال در نظام اعتباردهی کدامند و وزن هر یک چقدر است؟ (۲) در نسخه‌های مختلف روش ELECTRE، رتبه‌بندی گزینه‌ها چگونه است و چه تفاوت‌هایی میان نتایج این نسخه‌ها وجود دارد؟ (۳) با توجه به ماهیت قطعی داده‌ها، کدام نسخه از روش‌های ELECTRE نتایج قابل‌اعتمادتری ارائه می‌دهد؟ و (۴) نتایج حاصل از روش‌های ELECTRE با روش‌های جبرانی SAW^1 و $TOPSIS^2$ تا چه میزان همخوانی دارد و این همخوانی چه دلالت‌هایی برای اعتبار نتایج پژوهش دارد؟ یافته‌های این مطالعه می‌تواند الگویی برای سایر نهادهای اعتباردهی در کشور باشد و راهنمای عملی برای مدیران و سیاست‌گذاران حوزه زیرساخت کیفیت در انتخاب سامانه‌های حکمرانی دیجیتال^۳ فراهم آورد.

پس از این مقدمه، در بخش دوم، مرور پیشینه پژوهش و شکاف پژوهشی ارائه می‌شود. بخش سوم به مبانی نظری شامل ادبیات پژوهش، مفاهیم و تعاریف موضوع، متغیرها، و خانواده روش‌های ELECTRE اختصاص دارد. بخش چهارم روش پژوهش را تشریح می‌کند. بخش پنجم یافته‌های پژوهش را ارائه می‌دهد. در نهایت، بخش ششم به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲ پیشینه پژوهش

پژوهش‌های پیشین در سه حوزه مرتبط با موضوع مقاله مرور می‌شوند: (۱) تحول دیجیتال در نظام‌های کیفیت و اعتباردهی، (۲) کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در نظام‌های کیفیت، و (۳) کاربرد روش‌های ELECTRE در مسائل مرتبط با زیرساخت کیفیت.

در حوزه تحول دیجیتال، واپل (۲۰۱۹) در یک مطالعه مروری جامع، ابعاد مختلف تحول دیجیتال در سازمان‌ها را شناسایی و چهارچوبی مفهومی برای تحلیل این پدیده ارائه کرده است. وی نشان می‌دهد که تحول دیجیتال فراتر از دیجیتالی‌سازی صرف بوده و مستلزم تغییرات بنیادین در فرهنگ، ساختار و فرایندهای سازمانی است. در حوزه زیرساخت کیفیت، سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (۲۰۲۰) گزارشی جامع درباره نقش زیرساخت کیفیت در توسعه اقتصادی کشورها ارائه کرده و بر ضرورت تطبیق این نهادها با تحولات دیجیتال تأکید

¹ Simple Additive Weighting (SAW)

² Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

³ Digital Governance

نموده است. همچنین، همکاری بین‌المللی در زمینه اعتباردهی آزمایشگاه (۲۰۲۴) در گزارشی به بررسی روندهای نوین در اعتباردهی از جمله ارزیابی از راه دور، استفاده از هوش مصنوعی در فرایندهای ارزیابی و مدیریت دیجیتال داده‌های اعتباردهی پرداخته است. در سطح ملی، تمтаجی و درزی (۱۴۰۳) به بررسی نقش هوش مصنوعی در ارتقای قابلیت اطمینان نتایج آزمایشگاه و افزایش سطح انطباق با استاندارد ایزو-آی.ای.سی ۱۷۰۲۵ پرداخته‌اند. همچنین، تمтаجی و اکرامی (۱۴۰۳) راه‌کارهای مدیریتی و فنی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تضمین کیفیت محصولات پیچیده را ارائه کرده‌اند.

در حوزه تصمیم‌گیری چندشاخصه، هوآنگ و تزنگ (۲۰۱۱) در کتاب مرجع خود، کاربرد گسترده روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه را در حوزه‌های مختلف مدیریت از جمله مدیریت کیفیت و استاندارد بررسی کرده‌اند. کیم و لی (۲۰۲۱) به بررسی یکپارچه‌سازی راهبردی هوش مصنوعی و استانداردهای کیفیت پرداخته و نشان داده‌اند که انتخاب سامانه‌های هوشمند نیازمند رویکردی چندشاخصه است. همچنین، پاتیل (۲۰۲۵) استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ^۱ را برای انطباق با نرم‌افزارهای کیفیت بررسی کرده است. در حوزه کاربرد روش‌های ELECTRE، فیگوئیرا و همکاران (۲۰۰۵) در فصل مرجعی از کتاب تصمیم‌گیری چندشاخصه، به تشریح کامل خانواده ELECTRE و کاربردهای آن پرداخته‌اند. رُی (۱۹۹۱) نیز مبانی فلسفی و نظری روش‌های تسلط تقریبی را تبیین کرده است.

بر اساس مرور پژوهش‌های پیشین، شکاف‌های پژوهشی زیر شناسایی می‌شود: (۱) نبود پژوهشی جامع در حوزه انتخاب سامانه حکمرانی تحول دیجیتال در نظام اعتباردهی با وجود پژوهش‌های متعدد در حوزه تحول دیجیتال و کاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره؛ (۲) استفاده نکردن از خانواده کامل روش‌های ELECTRE در مسائل مرتبط با اعتباردهی، در حالی که استفاده ترکیبی از نسخه‌های مختلف می‌تواند درک جامع‌تری از مسئله ارائه دهد؛ (۳) نبود معیارهای بومی‌شده برای انتخاب سامانه‌های دیجیتال در نظام اعتباردهی ایران؛ و (۴) مقایسه نکردن روش‌های جبرانی و غیرجبرانی در انتخاب سامانه‌های دیجیتال. با توجه به این شکاف‌ها، پژوهش حاضر با هدف ارائه چارچوبی علمی برای انتخاب سامانه حکمرانی دیجیتال، با استفاده

¹ Large Language Models

ترکیبی از چهار نسخه ELECTRE و مقایسه نظام‌مند با روش‌های جبرانی، به دنبال پُر کردن این خلاء علمی و ارائه راهنمای عملی برای نهادهای اعتباردهی است.

۳ مبانی نظری

۳-۱ تحول دیجیتال در زیرساخت کیفیت

تحول دیجیتال فرایندی است که طی آن سازمان‌ها با استفاده از فناوری‌های دیجیتال، مدل‌های کسب‌وکار، ساختارهای مدیریتی و فرایندهای عملیاتی خود را بازآفرینی می‌کنند تا بتوانند ارزش بیشتری برای ذی‌نفعان ایجاد نمایند (وایل، ۲۰۱۹). برخلاف دیجیتالی‌سازی^۱ که صرفاً به تبدیل اطلاعات فیزیکی به قالب دیجیتال اشاره دارد، تحول دیجیتال مستلزم ایجاد تغییرات بنیادین در فرهنگ سازمانی، سازوکارهای تصمیم‌گیری و نحوه ارائه خدمات است (بهارادواج و همکاران، ۲۰۱۳). زیرساخت‌های کیفیت شامل استانداردسازی، اندازه‌شناسی، اعتباردهی و ارزیابی انطباق است و نقش مهمی در توسعه اقتصادی کشورها ایفا می‌کند (سازمان توسعه و همکاری اقتصادی، ۲۰۲۰). تحول دیجیتال زیرساخت کیفیت یکی از چالش‌های اصلی در زمینه صنعت^۴ محسوب می‌شود و نهادهای اعتباردهی در سراسر جهان در حال تطبیق با فناوری‌های نوین نظیر شبکه‌های حسگر هوشمند، کنترل کیفیت مبتنی بر هوش مصنوعی، بازرسی‌های مجازی و زنجیره بلوکی برای ردیابی گواهینامه‌ها هستند. (همکاری بین‌المللی در زمینه اعتباردهی آزمایشگاه، ۲۰۲۴)

۳-۲ نظام اعتباردهی آزمایشگاه‌ها

نظام اعتباردهی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون بر اساس استانداردهای بین‌المللی ایزو-آی.ای.سی. ۱۷۰۲۵:۲۰۱۷ و ایزو-آی.ای.سی. ۱۷۰۱۱:۲۰۱۷ استوار است. استاندارد ایزو-آی.ای.سی. ۱۷۰۲۵ الزامات عمومی برای صلاحیت آزمایشگاه‌ها را در پنج حوزه اصلی تعیین می‌کند: الزامات عمومی (بی‌طرفی و محرمانگی)، الزامات ساختاری، الزامات منابع، الزامات فرایندی و الزامات سیستم مدیریت. استاندارد ایزو-آی.ای.سی. ۱۷۰۱۱ نیز الزامات لازم برای عملکرد معتبر، مستقل و بی‌طرف نهادهای اعتباردهی را تعیین می‌کند و ارزیابی از راه دور را به

¹ Digitization

عنوان «ارزیابی مکان فیزیکی یا سایت مجازی یک نهاد ارزیابی انطباق با استفاده از ابزارهای الکترونیکی» تعریف کرده است.

۳-۳ حکمرانی دیجیتال و حکمرانی تحول دیجیتال

حکمرانی دیجیتال به مجموعه‌ای از سیاست‌ها، ساختارها، فرایندها و سازوکارهایی اطلاق می‌شود که نحوه استفاده از فناوری‌های دیجیتال در سازمان را هدایت و کنترل می‌کنند (یانسن و همکاران، ۲۰۱۷). در نهادهای اعتباردهی، حکمرانی دیجیتال شامل مدیریت داده‌های حساس، تضمین امنیت و محرمانگی اطلاعات، تسهیل ارتباط با سامانه‌های ملی و بین‌المللی، ارتقای شفافیت و قابلیت ردیابی، افزایش سرعت ارائه خدمات و پشتیبانی از تصمیم‌گیری تخصصی و گروهی است. حکمرانی تحول دیجیتال مفهومی گسترده‌تر از حکمرانی دیجیتال است و به چارچوب‌های هدایت‌کننده برای مدیریت فرایند تحول دیجیتال در سازمان اطلاق می‌شود (مرژل و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهش حاضر، سامانه حکمرانی تحول دیجیتال به سامانه‌ای اطلاق می‌شود که بتواند هر دو بُعد ساختاری (حکمرانی دیجیتال) و فرایندی (حکمرانی تحول دیجیتال) را پوشش دهد.

۳-۴ تصمیم‌گیری چندشاخصه

تصمیم‌گیری چندشاخصه یکی از شاخه‌های اصلی تصمیم‌گیری چندمعیاره است و مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارهای تحلیلی را شامل می‌شود که برای ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌ها در حضور چندین شاخص استفاده می‌شوند (زلنی، ۱۹۸۲). این روش‌ها به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا در شرایط وجود شاخص‌های متعدد و گاه متعارض، بهترین گزینه را انتخاب نمایند (پلتون و استورات، ۲۰۰۲). روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند (تزنگ و هوآنگ، ۲۰۱۱): روش‌های جبرانی^۱ که در آن عملکرد ضعیف در یک شاخص می‌تواند با عملکرد خوب در شاخص‌های دیگر جبران شود (مانند از SAW، TOPSIS، VIKOR و MAUT^۲)، و روش‌های غیرجبرانی^۳ که ضعف شدید در برخی شاخص‌ها قابل جبران نیست (مانند ELECTRE و PROMETHEE).

^۱ Compensatory

^۲ Multi-Attribute Utility Theory

^۳ Non-Compensatory

در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه روش‌های ELECTRE در دسته روش‌های غیرجبرانی قرار دارند و ضعف در معیارهای حیاتی (مانند انطباق با استاندارد) قابل جبران نیست، استفاده از این روش‌ها برای انتخاب سامانه حکمرانی دیجیتالی مناسب‌تر از روش‌های جبرانی است. در عین حال، روش‌های SAW و TOPSIS به عنوان روش‌های جبرانی، برای اعتبارسنجی نتایج به کار گرفته شده‌اند.

۳-۵ خانواده روش‌های الکتره

روش‌های ELECTRE را برنارد روی در سال ۱۹۶۸ توسعه داد که بر اساس مفهوم تسلط تقریبی^۱ استوار است (رُی، ۱۹۶۸). در این رویکرد، گزینه A_i بر گزینه A_j تسلط تقریبی دارد اگر: (۱) دلایل کافی برای برتری A_i وجود داشته باشد، و (۲) دلایل مخالف آن قدر قوی نباشند که این برتری را رد کنند (رُی، ۱۹۶۸). خانواده روش‌های ELECTRE شامل نسخه‌های مختلفی است که هر یک برای نوع خاصی از مسئله طراحی شده‌اند. جدول ۱ خلاصه‌ای از نسخه‌های مختلف این روش را ارائه می‌دهد.

جدول ۱. خلاصه نسخه‌های مختلف روش ELECTRE

نسخه	سال	نوع مسئله	نوع معیار	ویژگی اصلی
ELECTRE I	1968	انتخاب	معیار صریح	شناسایی هسته، بدون آستانه
ELECTRE IS	1985	انتخاب	شبه‌معیار	قابلیت فازی، دارای آستانه‌های q و p
ELECTRE II	1971	رتبه‌بندی	معیار صریح	دو سطح برتری قوی و ضعیف
ELECTRE III	1978	رتبه‌بندی	شبه‌معیار	آستانه‌های q ، p و v ، درجه اعتبار
ELECTRE IV	1982	رتبه‌بندی	شبه‌معیار	بدون وزن معیارها
ELECTRE TRI	1992	طبقه‌بندی	شبه‌معیار	طبقه‌بندی بر اساس پروفایل‌های مرجع

در این پژوهش، با توجه به ماهیت قطعی داده‌ها و نیاز به هر دو جنبه انتخاب و رتبه‌بندی، از نسخه‌های ELECTRE I تا IV استفاده شده است. همچنین، برای مدیریت عدم قطعیت در ترجیحات خبرگان، از ELECTRE III با آستانه‌های بی‌تفاوتی^۲ (q)، ترجیح^۳ (p) و وتو^۴ (v) بهره گرفته شد.

¹ Outranking

² Indifference Threshold

³ Preference Threshold

⁴ Veto Threshold

۴ روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد کمی است. جامعه آماری شامل خبرگان حوزه اعتباردهی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون (واسنجی) و تحول دیجیتال در یک نهاد اعتباردهی پیشرو در ایران (موردکاوی) می‌شود. با توجه به ماهیت تخصصی موضوع، از روش نمونه‌گیری هدفمند (قضاوتی) استفاده شده و ۱۰ نفر از خبرگان با معیارهای کمینه ۱۰ سال سابقه کار در حوزه اعتباردهی، آشنایی کامل با استانداردهای ایزو-آی.ای.سی ۱۷۰۲۵ و ایزو-آی.ای.سی ۱۷۰۱۱، و تجربه عملی در پروژه‌های تحول دیجیتال انتخاب شدند. داده‌ها از طریق دو پرسشنامه مجزا جمع‌آوری شد: پرسشنامه تعیین وزن معیارها (مقیاس ۱ تا ۱۰) و پرسشنامه امتیازدهی به گزینه‌ها (مقیاس ۱ تا ۹ برای معیارهای کیفی و مقادیر کمی برای هزینه و زمان).

در این پژوهش، با توجه به ماهیت قطعی داده‌ها (شامل ارزیابی‌های کمی و کیفی با مقادیر مشخص) و نیاز به هر دو جنبه انتخاب (غربالگری) و رتبه‌بندی گزینه‌ها، از خانواده روش‌های ELECTRE (نسخه‌های I تا IV) استفاده شد. این روش‌ها که در دسته روش‌های غیرجبرانی تصمیم‌گیری چندشاخصه قرار دارند، به دلیل توانایی در مدیریت معیارهای حیاتی (بدون امکان جبران ضعف در آنها) و قابلیت مدل‌سازی عدم قطعیت از طریق آستانه‌های بی‌تفاوتی، ترجیح و وتو، برای مسئله پژوهش مناسب تشخیص داده شده‌اند (رُی، ۱۹۹۱؛ فیگوئرا و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین، برای اعتبارسنجی نتایج، روش‌های جبرانی SAW و TOPSIS نیز به کار گرفته شده‌اند.

برای تأمین روایی محتوایی پرسشنامه‌ها، از سه روش استفاده شد؛ ابتدا، تعاریف عملیاتی دقیق از هر معیار و گزینه در ابتدای پرسشنامه‌ها درج شد تا درک یکسانی از مفاهیم برای پاسخ‌دهندگان فراهم شود. دوم، پرسشنامه‌ها را ۳ نفر از اساتید حوزه مدیریت کیفیت و تصمیم‌گیری چندشاخصه (با مدرک دکتری و سابقه تدریس در این حوزه) و ۲ نفر از خبرگان ارشد حوزه اعتباردهی (با بیش از ۱۵ سال سابقه) بررسی و تأیید کردند. سوم، با استفاده از روش نسبت روایی محتوا^۱ میزان توافق خبرگان در مورد ضرورت هر سؤال محاسبه شد. فرمول

¹ Content Validity Ratio (CVR)

نسبت روایی محتوا به صورت $CVR = (ne - N/2) / (N/2)$ است که در آن ne تعداد خبرگانی است که سؤال را «ضروری» ارزیابی کرده‌اند و N تعداد کل خبرگان است. بر اساس جدول لاوشه (لاوشه، ۱۹۷۵)، مقدار نسبت روایی محتوا بحرانی برای گروه ۱۰ نفره خبرگان برابر با ۰.۶۲ تعیین شد و تمام سؤالات با نمره بالاتر از این مقدار تأیید شدند.

با توجه به ماهیت خبرگی پژوهش و نبود پاسخ‌های تصادفی، پایایی از طریق روش توافق بین خبرگان^۱ با استفاده از ضریب توافق کندال^۲ محاسبه شد. پیش از تکمیل پرسشنامه‌ها، جلسه توجیهی برای خبرگان برگزار شد تا از درک یکسان آنها از مفاهیم اطمینان حاصل شود. مقدار ضریب توافق کندال برای پرسشنامه وزن معیارها برابر با ۰.۸۲ و برای پرسشنامه امتیازدهی به گزینه‌ها برابر با ۰.۷۹ محاسبه شد (در هر دو مورد $p < 0.01$) که نشان‌دهنده توافق معنادار بین خبرگان و پایایی مطلوب ابزارهای پژوهش است.

۴-۱ گزینه‌ها و معیارهای پژوهش

بر اساس ادبیات موضوع و مصاحبه با خبرگان، ۸ گزینه سامانه‌ای (جدول ۲) و ۸ معیار اصلی (جدول ۳) شناسایی و تعریف عملیاتی شدند.

جدول ۲. گزینه‌های سامانه حکمرانی تحول دیجیتال (متغیر مستقل)

کد گزینه	عنوان گزینه	تعریف عملیاتی
A1	حکمرانی داده	توانایی سامانه در مدیریت چرخه عمر داده‌ها شامل جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، پردازش، تحلیل و هم‌رسانی داده‌های مرتبط با فرایندهای اعتباردهی
A2	یکپارچگی فرایندهای اعتباردهی	قابلیت سامانه در یکپارچه‌سازی تمام فرایندهای اعتباردهی از درخواست تا صدور گواهی‌نامه
A3	مدیریت دانش و شایستگی ارزیابان	توانایی سامانه در مدیریت اطلاعات مربوط به ارزیابان شامل صلاحیت‌ها، سوابق و تخصیص آنها به پروژه‌های ارزیابی
A4	تصمیم‌سازی داده‌محور	توانایی سامانه در پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده از طریق داشبوردها و ابزارهای تحلیلی

¹ Inter-rater Agreement

² Kendall's W

کد گزینه	عنوان گزینه	تعریف عملیاتی
A5	فرهنگ و شایستگی دیجیتال	قابلیت‌های سامانه در زمینه آموزش، توانمندسازی و ارتقای فرهنگ دیجیتال در سازمان
A6	امنیت و محرمانگی اطلاعات	توانایی سامانه در تضمین امنیت داده‌ها و محرمانگی اطلاعات حساس آزمایشگاه‌ها و ارزیابان
A7	رهبری و حمایت مدیریتی	توانایی سامانه در پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های راهبردی و ایجاد شفافیت برای مدیران ارشد
A8	شفافیت و قابلیت ردیابی	توانایی سامانه در ارائه گزارش‌های شفاف و امکان ردیابی کامل فرایندهای اعتباردهی

جدول ۳. معیارهای ارزیابی سامانه‌ها و وزن هر معیار (متغیرهای وابسته)

کد معیار	عنوان معیار	نوع	جهت‌گیری	تعریف عملیاتی	وزن
C1	میزان تأثیر بر کیفیت تصمیم‌گیری نهاد اعتباردهی	کیفی	مثبت (سود)	میزان بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری در نهاد اعتباردهی پس از استقرار سامانه (امتیاز ۰ تا ۱۰)	0.18
C2	میزان تأثیر بر بهره‌وری عملیاتی نهاد اعتباردهی	کیفی	مثبت (سود)	میزان کاهش زمان و هزینه‌های عملیاتی نهاد اعتباردهی (امتیاز ۰ تا ۱۰)	0.14
C3	تأثیر بر تحقق الزامات ایزو-آی.ای.سی ۱۷۰۱۱	کیفی	مثبت (سود)	درصد انطباق سامانه با الزامات استاندارد ایزو-آی.ای.سی ۱۷۰۱۱ (امتیاز ۰ تا ۱۰)	0.20
C4	امکان‌پذیری اجرا در شرایط فعلی نهاد	کیفی	مثبت (سود)	میزان قابلیت پیاده‌سازی سامانه با زیرساخت‌ها و منابع موجود نهاد (امتیاز ۰ تا ۱۰)	0.12
C5	هزینه پیاده‌سازی	کمی	منفی (هزینه)	مجموع هزینه‌های پیاده‌سازی اولیه، نگهداری سالیانه، پشتیبانی فنی و آموزش کاربران (میلیارد ریال)	0.08
C6	زمان موردنیاز برای استقرار	کمی	منفی (هزینه)	مدت زمان موردنیاز برای استقرار کامل سامانه از مرحله طراحی تا بهره‌برداری (ماه)	0.06

کد معیار	عنوان معیار	نوع	جهت‌گیری	تعریف عملیاتی	وزن
C7	اثر بلندمدت و پایداری نتایج	کیفی	مثبت (سود)	میزان ماندگاری و پایداری نتایج حاصل از استقرار سامانه در بلندمدت (امتیاز ۰ تا ۱۰)	0.14
C8	میزان پذیرش توسط کارشناسان و ارزیابان	کیفی	مثبت (سود)	میزان پذیرش و استقبال کارشناسان و ارزیابان نهاد از سامانه (امتیاز ۰ تا ۱۰)	0.08

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و محاسبه میانگین امتیازات، ماتریس تصمیم و ماتریس کمی‌سازی شده با استفاده از روش دو قطبی، به صورت جدول ۴ تشکیل شد:

جدول ۴. ماتریس کمی‌سازی شده با استفاده از مقیاس دوقطبی فاصله‌ای

شاخص‌ها / گزینه‌ها	C1	C2	C3	C4	C5 (-)	C6 (-)	C7	C8
A1	9	7	7	5	12	10	9	5
A2	7	9	9	7	14	14	9	7
A3	5	7	5	9	4	4	7	9
A4	9	7	7	5	18	16	9	5
A5	7	5	5	7	6	8	7	7
A6	7	5	9	5	11	10	9	5
A7	9	7	7	9	3	3	9	7
A8	7	7	9	7	8	8	9	7

۴-۲ تشریح گام‌های روش‌های ELECTRE

در این پژوهش، چهار نسخه از روش‌های ELECTRE به شرح زیر پیاده‌سازی شده‌اند:

ELECTRE I (انتخاب): از این روش برای غربالگری اولیه و شناسایی مجموعه گزینه‌های برتر^۱ استفاده می‌شود. گام‌های آن عبارتند از: (۱) نرمال‌سازی ماتریس تصمیم با روش نرم اقلیدسی، (۲) تشکیل ماتریس نرمال‌شده موزون، (۳) تعیین مجموعه‌های موافق و مخالف برای هر جفت گزینه، (۴) محاسبه ماتریس‌های موافقت^۲ و مخالفت^۳، (۵) تعیین آستانه‌های موافقت (c) و مخالفت (d)، و (۶) تشکیل ماتریس تسلط نهایی و شناسایی گزینه‌های Kernel.

¹ Kernel

² Concordance

³ Discordance

ELECTRE II (رتبه‌بندی با دو سطح برتری): این روش برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها با استفاده از دو سطح برتری قوی و ضعیف طراحی شده است. گام‌های آن عبارتند از: (۱) انجام مراحل ۱ تا ۴ مشابه ELECTRE I، (۲) تعیین آستانه‌های برتری قوی (C^+, D^+) و برتری ضعیف (C^-, D^-)، (۳) تشکیل ماتریس‌های برتری قوی و ضعیف، و (۴) انجام فرایندهای تقطیر نزولی و صعودی برای استخراج رتبه‌بندی نهایی.

ELECTRE III (رتبه‌بندی با عدم قطعیت): این روش با معرفی آستانه‌های بی‌تفاوتی (q)، ترجیح (p) و وتو (v)، قابلیت مدیریت عدم قطعیت در داده‌ها را فراهم می‌کند. گام‌های آن عبارتند از: (۱) تعیین آستانه‌های q, p و v برای هر معیار (جدول ۵)، (۲) محاسبه شاخص موافقت جزئی برای هر جفت گزینه در هر معیار، (۳) محاسبه شاخص موافقت کلی، (۴) محاسبه شاخص مخالفت برای هر جفت گزینه، (۵) محاسبه درجه اعتبار ترکیبی، و (۶) انجام فرایندهای تقطیر نزولی و صعودی برای استخراج رتبه‌بندی نهایی.

مقادیر آستانه‌ها بر اساس نظر خبرگان و با در نظر گرفتن ماهیت هر معیار تعیین شدند. برای معیارهای راهبردی و کیفی (C1, C3, C7, C8)، اختلاف ۱ واحد در محدوده خطای قضاوت خبرگان تلقی و به عنوان آستانه بی‌تفاوتی (q) در نظر گرفته شد. برای معیارهای اجرایی (C4) نیز همین منطق حفظ شده است. برای معیارهای کمی و دارای دامنه بزرگ‌تر (C5 و C6)، آستانه‌های بزرگ‌تری تعریف شدند تا حساسیت مدل متناسب با عدم قطعیت برآورد هزینه و زمان باشد. همچنین، برای معیارهای C3 (انطباق با استاندارد) و C7 (پایداری نتایج)، آستانه وتوی کوچک‌تری انتخاب شد، زیرا ضعف شدید در این معیارها می‌تواند مزایای سایر معیارها را خنثی کند و قابل جبران نیست.

جدول ۵. تعیین مقادیر آستانه‌های بی‌تفاوتی، ترجیح و وتو

شاخص‌ها / آستانه‌ها	C1	C2	C3	C4	C5 (-)	C6 (-)	C7	C8
q	1	1	1	1	2	2	1	1
p	2	2	2	2	4	4	2	2
v	4	4	3	4	8	8	3	4

ELECTRE IV (رتبه بندی بدون وزن): این روش برای شرایطی طراحی شده است که تعیین وزن معیارها دشوار یا غیرممکن باشد و رتبه بندی صرفاً بر اساس مقایسه مستقیم عملکرد گزینه ها انجام می شود. این روش از چهار سطح برتری (شبه غلبه، غلبه متعارف، شبه غلبه ترجیحی و غلبه مبتنی بر وتو) برای رتبه بندی استفاده می کند.

برای اعتبارسنجی نتایج، دو روش جبرانی SAW (مجموع وزنی ساده) و TOPSIS (شباهت به گزینه ایده آل) نیز پیاده سازی شده اند.

۵ یافته های پژوهش

۵-۱ نتایج روش های جبرانی

نتایج حاصل از پیاده سازی روش های SAW و TOPSIS در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج رتبه بندی گزینه ها با روش های SAW و TOPSIS

رتبه TOPSIS	C*(TOPSIS)	رتبه SAW	امتیاز SAW	گزینه ها
5	0.498	5	0.734	A1
3	0.558	2	0.806	A2
4	0.509	4	0.734	A3
8	0.407	6	0.720	A4
7	0.433	8	0.656	A5
6	0.484	7	0.709	A6
1	0.732	1	0.907	A7
2	0.645	3	0.797	A8

جدول ۷. امتیازات نهایی و رتبه بندی ELECTRE III

گزینه ها	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
تعداد غالب	1	3	0	1	0	0	2	2
تعداد مغلوب	1	0	1	1	3	2	0	1
امتیاز	0	3	-1	0	-3	-2	2	1
اولویت	4	1	5	4	7	6	2	3

نتایج ELECTRE IV: با تشکیل ماتریس‌های برتری در چهار سطح و محاسبه امتیازات ورودی و خروجی (جدول ۸)، رتبه‌بندی نهایی به صورت $A7 > A8 > A2 > A3 > A1 > A5 > A4 \approx A6$ به‌دست آمد.

جدول ۸. امتیازات ورودی و خروجی در روش ELECTRE IV

گزینه‌ها	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
امتیاز ورودی	9	4	3	14	14	16	0	3
امتیاز ورودی	7	12	6	0	2	2	21	13
شاخص خالص	-2	8	3	-14	-12	-14	21	10
امتیاز کل	5	3	4	7	6	7	1	2

۲-۵ مقایسه و تحلیل نتایج

جدول ۹ نتایج رتبه‌بندی تمام روش‌های مورد استفاده را به صورت خلاصه و مقایسه‌ای ارائه می‌دهد.

جدول ۹. مقایسه رتبه‌بندی گزینه‌ها در روش‌های مختلف

گزینه‌ها/روش	SAW	TOPSIS	ELECTRE I	ELECTRE II	ELECTRE III	ELECTRE III
A1	5	5	3	2	4	5
A2	2	3	2	1	1	3
A3	4	4	5	4	5	4
A4	6	8	5	4	4	7
A5	8	1	5	4	7	6
A6	7	6	4	3	6	7
A7	1	1	1	1	2	1
A8	3	2	1	1	3	2

به منظور دستیابی به یک رتبه‌بندی اجماعی، از روش میانگین رتبه‌ها استفاده شده است (جدول ۱۰). بر این اساس، رتبه‌بندی نهایی به صورت $A7 > A2 \approx A8 > A1 > A3 > A6 > A4 > A5$ تعیین می‌شود.

جدول ۱۰. میانگین رتبه و انحراف معیار هر گزینه

گزینه	میانگین رتبه	انحراف معیار	رتبه نهایی (میانگین)
A1	۴	۱/۲۶	۴
A2	۲	۰/۸۹	۲
A3	۴/۳۳	۰/۵۲	۵
A4	۶۷/۵	۱/۵۱	۷

گزینه	میانگین رتبه	انحراف معیار	رتبه نهایی (میانگین)
A5	۶/۳۳	۱/۰۳	۸
A6	۵/۵۰	۱/۶۴	۶
A7	۱/۱۷	۰/۴۱	۱
A8	۲	۰/۸۹	۲

تحلیل‌های تکمیلی نشان می‌دهد که گزینه A7 (رهبری و حمایت مدیریتی) با کمترین انحراف معیار (۰/۴۱) دارای بیشترین ثبات در تمام روش‌هاست. گزینه‌های A2 و A8 نیز از ثبات نسبی برخوردارند. در مقابل، گزینه‌های A4 (۱/۵۱) و A6 (۱/۶۴) بیشترین انحراف معیار را دارند که نشان‌دهنده حساسیت بالای این گزینه‌ها به نوع روش تصمیم‌گیری است. همچنین، ضریب همبستگی اسپیرمن بین روش‌ها (جدول ۱۱) نشان می‌دهد که بالاترین همبستگی بین SAW و TOPSIS (۰/۸۹) و پایین‌ترین بین ELECTRE I و ELECTRE III (۰/۶۰) است. تمام ضرایب در سطح معناداری $p < 0.01$ معنادار هستند که نشان‌دهنده اعتبار نتایج پژوهش است.

جدول ۱۱. ضریب همبستگی اسپیرمن بین رتبه‌بندی روش‌های مختلف

روش‌ها	SAW	TOPSIS	ELECTRE I	ELECTRE II	ELECTRE III	ELECTRE IV
SAW	1	0.89	0.76	0.78	0.65	0.74
TOPSIS	0.89	1	0.83	0.81	0.72	0.78
ELECTRE I	0.76	0.83	1	0.85	0.60	0.72
ELECTRE II	0.78	0.81	0.85	1	0.68	0.76
ELECTRE III	0.65	0.72	0.60	0.68	1	0.70
ELECTRE IV	0.74	0.78	0.72	0.76	0.70	1

۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر با هدف انتخاب مناسب‌ترین سامانه حکمرانی تحول دیجیتال برای نظام اعتباردهی آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون (واسنجی) با استفاده از خانواده روش‌های ELECTRE انجام شد. نتایج نشان داد که از میان ۸ گزینه سامانه‌ای ارزیابی شده در ۸ معیار، گزینه «رهبری و حمایت مدیریتی» (A7) با میانگین رتبه ۱/۱۷ در رتبه اول و گزینه‌های «یکپارچگی فرایندهای اعتباردهی» (A2) و «شفافیت و قابلیت ردیابی فرایندهای اعتباردهی» (A8) با میانگین رتبه ۲ در رتبه دوم مشترک قرار گرفتند. همچنین، روش ELECTRE III به

دلیل توانایی در مدیریت عدم قطعیت از طریق آستانه‌های بی تفاوتی، ترجیح و وتو، نتایج قابل اعتمادتری نسبت به سایر روش‌ها ارائه داد.

در پاسخ به سؤالات پژوهش: (۱) مهم‌ترین معیارها به ترتیب عبارتند از: تحقق الزامات ISO/IEC 17011 (وزن ۰/۲۰)، کیفیت تصمیم‌گیری (۰/۱۸)، بهره‌وری عملیاتی (۰/۱۴) و پایداری اثر (۰/۱۴). (۲) نسخه‌های مختلف ELECTRE نتایج متفاوتی ارائه دادند که تفاوت اصلی در نحوه مدیریت عدم قطعیت و نقش وزن معیارها است. (۳) با توجه به ماهیت قطعی داده‌ها و وجود عدم قطعیت در ترجیحات خبرگان، ELECTRE III نتایج قابل اعتمادتری ارائه داد که با انحراف معیار پایین‌تر نتایج تأیید شد. (۴) همخوانی بالایی بین نتایج ELECTRE با روش‌های جبرانی SAW و TOPSIS مشاهده شد (ضریب همبستگی اسپیرمن بین ۰/۶۰ تا ۰/۸۹) که اعتبار نتایج را تأیید می‌کند.

پیشنهادهای کاربردی: (۱) با توجه به رتبه اول A7، تشکیل کمیته راهبردی تحول دیجیتال با حضور مدیران ارشد برای جلب حمایت مدیریتی ضروری است. (۲) با توجه به رتبه اول A2 در ELECTRE III، استقرار سامانه‌ای که تمام فرایندهای اعتباردهی را از درخواست تا صدور گواهینامه یکپارچه مدیریت کند، در اولویت است. (۳) با توجه به رتبه دوم A8، توسعه سامانه‌ای که شفافیت و قابلیت ردیابی کامل را فراهم آورد، توصیه می‌شود. (۴) معیارهای C3 (یکپارچگی) و C7 (انطباق با الزامات تحول دیجیتال) به عنوان معیارهای حیاتی شناسایی شدند که ضعف در آنها قابل جبران نیست. (۵) استفاده از روش‌های غیرجبرانی مانند ELECTRE برای تصمیم‌گیری در حوزه نظام‌های اعتباردهی توصیه می‌شود.

پیشنهادهای پژوهشی: (۱) استفاده از نسخه‌های فازی ELECTRE برای مدل‌سازی دقیق‌تر عدم قطعیت. (۲) توسعه معیارهای ارزیابی با در نظر گرفتن قابلیت امنیت سایبری، مقیاس‌پذیری و قابلیت شخصی‌سازی. (۳) انجام پژوهش‌های مشابه در سایر نهادهای اعتباردهی برای افزایش تعمیم‌پذیری. (۴) بررسی تأثیر تغییر وزن معیارها از طریق تحلیل حساسیت.

محدودیت‌های پژوهش: (۱) حجم نمونه محدود (۱۰ تن از خبرگان که با وجود تخصص بالا، تعمیم نتایج نیازمند احتیاط است). (۲) محدودیت تعداد معیارها (ممکن است معیارهای دیگری نیز مؤثر باشند). (۳) وابستگی نتایج به نظرات خبرگان که تغییر در ترکیب گروه خبرگان ممکن است نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. (۴) ماهیت قطعی داده‌ها که استفاده از داده‌های فازی می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد.

۷ مراجع

۱. تمتاجی، م.، و درزی نفت‌چالی، ر. (۱۴۰۳). بررسی و تحلیل نقش هوش مصنوعی در ارتقای قابلیت اطمینان نتایج آزمایشگاه و افزایش سطح انطباق با ISO/IEC 17025. همایش بین‌المللی هوش مصنوعی و تمدن آینده.
۲. تمتاجی، م.، و اکرامی، ع. (۱۴۰۳). ارائه راه‌کارهای مدیریتی و فنی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تضمین کیفیت محصولات پیچیده. سومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی کیفیت و قابلیت اکتاء.
3. Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). Multiple criteria decision analysis: An integrated approach. Kluwer Academic Publishers.
4. Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471-482.
5. EA. (2024). EA Strategy 2030. European co-operation for Accreditation.
6. Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (Eds.). (2005). Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. Springer.
7. ILAC. (2024). ILAC strategy 2024-2030. International Laboratory Accreditation Cooperation.
8. ISO/IEC 17011:2017. Conformity assessment — Requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies. International Organization for Standardization.
9. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Organization for Standardization.
10. Janssen, M., van der Voort, H., & Wahyudi, A. (2017). Factors influencing big data decision-making quality. *Journal of Business Research*, 70, 338-345.
11. Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575.
12. Lee, J., & Kim, Y. (2021). Strategic integration of AI and quality standards. *Journal of Industrial Information Integration*, 22, 100188.
13. Mergel, I., Edelman, N., & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 36(4), 101385.
14. OECD. (2020). The role of quality infrastructure in economic development. Organisation for Economic Co-operation and Development.

15. Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, 2(8), 57-75.
16. Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, 20(1), 3-24.
17. Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31(1), 49-73.
18. Roy, B., & Bertier, P. (1971). La méthode ELECTRE II: Une application au média-planning. *Proceedings of the 6th International Conference on Operational Research*, 291-302.
19. Roy, B., & Hugonnard, J. C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A*, 16(4), 301-312.
20. Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. CRC Press.
21. Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144.

Research paper

Digital Transformation Governance System Selection for Testing and Calibration Laboratories Accreditation System Using the ELECTRE Family of Methods

MohammadHossein Karimi Govareshti¹, Mostafa Tamtaji², Ruhollah Darzi³

1. Faculty of Management and Industrial Engineering Department, Malek-al-Ashtar Technical University, Tehran, Iran.
2. Faculty of Management and Industrial Engineering Department, Malek-al-Ashtar Technical University, Tehran, Iran.
3. P.h.D Student of Standard and Quality Management, Malek-al-Ashtar Technical University, Tehran, Iran.

Received:10/08/2026

Accepted:29/09/2026

Abstract

The accreditation system for testing and calibration laboratories, as one of the main pillars of the quality infrastructure, has faced the necessity of digital transformation and the establishment of digital governance systems in recent years. However, selecting the appropriate system is a complex decision-making problem due to the existence of multiple and conflicting criteria. The aim of this research is to select the most suitable digital transformation governance system for the accreditation system using the ELECTRE family of outranking methods. In this study, 8 system alternatives were evaluated against 8 main criteria using the opinions of 10 experts in the fields of accreditation and digital transformation at an accreditation body (case study). Data analysis was performed using ELECTRE I, II, III, and IV methods, as well as SAW and TOPSIS methods for validation purposes. To achieve a consensus ranking, the Average Rank Method was employed to aggregate the results of different methods. The results indicate that the "Leadership and Management Support" alternative (A7) with an average rank of 1.17 ranked first, while the "Integration of Accreditation Processes" (A2) and "Transparency and Traceability of Accreditation Processes" (A8) alternatives with an average rank of 2.00 were ranked joint second. Furthermore, the ELECTRE III method provided more reliable results compared to other methods due to its ability to manage uncertainty through indifference, preference, and veto thresholds. The findings of this study can serve as a practical guide for accreditation bodies in selecting digital governance systems.

Keywords: Digital Transformation, Laboratory Accreditation, Multi- Attribute Decision Making (MADM), ELECTRE