مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال دهم، شماره سوم (پیاپی ۳۸)، پاییز ۹۲، ص ص ۱۰۰-۸۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک با بهره‌گیری از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

ایمان عباسی لرکی[۱]، نوید خیاط[۲]، معصومه یزدان‌پناه مریکی[۳]، محمدعلی رهگذر[۴]، محمد خدابخشی*[۵]، محمد رضا معظمی گودرزی[۶]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، گروه عمران، شهرکرد، ایران
۲- استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، گروه عمران
۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات بروجرد، گروه ریاضی، بروجرد، ایران
۴- استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه اصفهان، گروه عمران
۵- دانشیار و عضو هیات علمی گروه ریاضی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۶- استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، گروه ریاضی

رسید مقاله: ۱۳ آبان ۱۳۹۱
پذیرش مقاله: ۲۳ اسفند ۱۳۹۱

چکیده

از آن‌جایی‌که هر یک از روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک از نقطه نظر اهمیت، دقت، میزان مقبولیت و تشابه منطقه‌ای با یکدیگر و با منطقه مورد بررسی تفاوت دارند؛ لذا با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به بهره‌گیری تلفیقی از قضاوت‌های گوناگون و مشخص کردن وزن هر یک از روش‌های مورد استفاده در ارزیابی، پرداخته شده است. روش‌های Seed ، Wong ، Kishida ، Seed and Idriss and Arango ، Andrew ، Martin and Toho and Yasoda و Japanese روش‌های مورد استفاده می‌باشند که کارایی روش‌های فوق با استفاده از مدل BCC بدون ورودی و با نرم افزار GAMS محاسبه؛ سپس با استفاده از رویکردهای ذکر شده، این روش‌ها مورد رتبه‌بندی قرارگرفته‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که بین رویکردهای فوق در رتبه‌بندی مطابقت کامل وجود دارد.

کلمات کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ارزیابی عملکرد، کارایی، پتانسیل روان‌گرایی خاک.

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: mkhbakhshi@yahoo.com

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

ساختار تحقیق

پس از مقدمه، بیان اهداف و معرفی پتانسیل روان‌گرایی خاک، در بخش پنجم پیشینه تحقیق مرور و در بخش ششم شرح متدولوژی بیان می‌شود. سپس در بخش ادبیات موضوعی تحقیق، مفهوم کارایی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، مدل‌های اساسی DEA، فرم پوششی مدل BCC در ماهیت خروجی، مدل‌های شعاعی بدون ورودی یا بدون خروجی در DEA، مدل BCC بدون ورودی (بدون خروجی)، معرفی خروجی‌ها و در بخش نتایج، نتایج روش‌های ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی بنا بر تحلیل پوششی دادها (DEA)، نتایج روش‌های ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی بنا بر تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مقایسه نتایج دو رودیکرد مطرح گردیده در انتها نتیجه‌گیری و منابع بیان شده است.

۱ مقدمه تحقیق

امروزه تحقیقات گسترده‌ای در زمینه سنجش کارایی سازمان‌ها صورت می‌پذیرد و تاکنون روش‌های متعددی نیز برای اندازه‌گیری کارایی سازمان‌ها ارایه شده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته مهم پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی نمود. مهم‌ترین تحقیقات در این زمینه از مدل تحلیل پوششی داده‌ها (Envelopment DEA: Data Analysis) بهره برده که روشی ناپارامتری برای سنجش کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU: Decision Making Units) است. این مدل توانسته در مدت زمان بسیار کمی، توسعه قابل ملاحظه‌ای پیدا نماید به طوری که تاکنون مقالات بسیار متنوعی در زمینه ارزیابی کارایی سازمان‌ها از جمله بانک‌ها، هتل‌ها، دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها و... به رشته تحریر در آمده است. از جمله در ایران از تحلیل پوششی‌داده‌ها در ارزیابی سازمان‌های خدماتی [۱]، شرکت‌های تولیدی [۲]، دستگاه‌های اجرایی [۳]، سازمان‌های تحقیقاتی [۴]، بانک‌ها [۵]، پالایشگاه‌ها [۶] و دانشگاه‌ها [۷] استفاده شده است.

۲ بیان مساله

این تحقیق جهت ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی ۷ روش اندازه گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک (Seed، Wong، Kishida، Seed and Idriss and Arango، Andrew and Martin، Toho and Yasoda و Japanese) صورت پذیرفته که در آن از دو خروجی میزان تشابه منطقه‌ای و میزان مقبولیت و از رویکردهای DEA و AHP استفاده شده است.

۳ اهداف تحقیق

اهداف عمده‌ای که در این تحقیق دنبال می‌شوند عبارتند از:

۱. سنجش کارایی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک.
۲. رتبه‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک.
۳. شناسایی روش‌های کارا و ناکارای اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

۴. ارایه پیشنهاداتی جهت بهبود روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک ناکارا.

۵. شناسایی و اندازه‌گیری شکاف‌های موجود در شاخص‌های میزان تشابه منطقه‌ای و میزان مقبولیت.

۶. مقایسه تحلیل پوششی داده‌ها(DEA) و تحلیل سلسله مراتبی(AHP) در ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک.

٤ روان‌گرایی خاک

روان‌گرایی پدیده‌ای است که در آن مقاومت و سختی خاک به دلیل لرزش زلزله یا بارگذاری سریع کاهش می‌یابد. این پدیده به صورت نشست‌های قابل توجه، ایجاد ترک و بازشدگی، فوران گل و آب، جوشش ماسه و تراوش آب از خلل و فرج موجود در سطح زمین پدیدار می‌گردد [۸].

این پدیده در عمل می‌تواند منجر به نشست و کج شدگی سازه‌ها، وقوع زمین لغزش‌ها، تسریع گسیختگی سدهای خاکی یا بروز انواع دیگری از خطرها گردد [۸].

از آن‌جایی که تمام خاک‌ها استعداد روان شدن را دارا نمی‌باشند لذا اولین قدم جهت بررسی مخاطرات اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی است. سنجش پتانسیل روان‌گرایی به دو عامل مهم بستگی دارد: عامل اول طبیعت لرزه‌ها (شدت، مدت و بزرگی) و عامل دوم استعداد مصالح اشباع برای روان شدن.

برای اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی یک توده خاک حین زلزله مراحل ذیل دنبال می‌شود:

۱. تخمین مقاومت روان‌گرایی توده خاک، R.

۲. تخمین تنش برشی سیکلی (دوره‌ای) معادل یا ماکزیمم که احتمال وقوع آن در توده خاک حین زمین لرزه وجود دارد، L.

۳. تخمین پتانسیل روان‌گرایی توده خاک بر اساس دو مرحله قبل.

با توجه به مطالعات و تحقیقات صورت پذیرفته در زمین لرزه‌های مختلف وکاربرد آزمون مقاومت نفوذ استاندارد (SPT) در مناطق روان شده، روابط و روش‌های کاربردی زیادی جهت اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی با استفاده از این آزمون ارایه شده است [۸].

٤-١ روش ساده شده SEED

اساس اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی در این روش در مرحله اول، بر مبنای محاسبه و تخمین ضریب تنش برشی سیکلی معادل یا حداکثر (L)، که احتمال وقوع آن در توده خاک حین زلزله وجود دارد؛ می‌باشد. در مرحله دوم اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی یک توده خاک در این روش، مقاومت روان‌گرایی توده خاک (R) محاسبه و تخمین زده می‌شود. معمولاً برای تخمین این مقدار بر اساس روابط تجربی و با بهره‌گیری از مقدار (SPT) ارزیابی صورت می‌پذیرد [۸].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

در پایان نسبت ضریب تنش برشی سیکلی معادل یا حداکثر (L) به مقاومت روان‌گرایی توده خاک (R) را به‌دست آورده در صورتی که این مقدار بزرگ‌تر از یک باشد؛ روان‌گرایی محتمل و در غیر این صورت روان‌گرایی غیر محتمل است [۹و۱۰].

٤-۲ روش ساده شده پل‌های شاهراهی ژاپن (Japanese Method)

روند اندازه‌گیری روان‌گرایی توده خاک در این روش، همانند روش Seed، بر پایه محاسبه و تخمین ضریب تنش برشی سیکلی (دوره‌ای) معادل یا حداکثر (L)، که احتمال وقوع آن در توده خاک حین زمین لرزه وجود دارد و محاسبه و تخمین مقاومت روان‌گرایی، R و مقایسه این دو با یکدیگر می‌باشد [۸].

٤-۳ روش WONG

آزمایش‌های آزمایشگاهی و داده‌های در محل نشان داده است که در ماسه‌های با مقادیر بالای ریزدانه نیز در خلال زلزله روان‌گرایی اتفاق خواهد افتاد. مطالعات انجام شده در چین ونگ و همکاران [۸] نشان داده است که انواع خاصی از ماسه‌های رسی ممکن است در اثر لرزش زلزله مقاومت خود را از دست داده؛ روان‌گرا شوند. این خاک‌ها دارای شرایط زیر می‌باشند [۹]:

۲۰٪> درصد ریزدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر.

۳۵ > (LL) حد روانی.

درصد رطوبت طبیعی برجای آن‌ها بزرگ‌تر از ۹۰ درصد حد روانی.

٤-٤ روش TOHO & YASODA

موارد ذیل شاخص‌های وقوع روان‌گرایی در این روش می‌باشد.

۱۸٪> درصد ریزدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی متر

درصد عبوری از الک ۲۰۰# کوچک‌تر از ۷۰ درصد [۱۱]

٤-۵ روش ANDREWS & MARTIN

اندرسن و مارتین [۹] مطالعات موردی روان‌گرایی حاصل از مجموعه داده‌های وانگ ۱۹۷۹ و نیز تعدادی از زلزله‌های بعدی را ارزیابی مجدد نموده، در نهایت معیارهای زیر را به عنوان شاخص برای وقوع روان‌گرایی بیان داشتند.

خاک‌های با مقدار ریزدانه رسی (کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی متر) کمتر از ۱۰ درصد واحد روانی کمتر از ۳۲ درصد برای بخشی از خاک که اندازه ذرات آن ریزتر از الک شماره ۴ می‌باشند؛ روان‌گرا در نظر گرفته می‌شوند [۹].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

٤-٦ روش SEED & IDRISS & ARANGO

چنان‌چه پارامترهای زیر در خاک برقرار باشد آن خاک به روش SEED & IDRISS & ARANGO دارای قابلیت بالای روان‌گرایی فرض می‌شود. درصد اجزای ریزتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر خاک کمتر از ۱۵ درصد [۱۱]

حد مایع خاک کمتر از ۳۵.

درصد آب بزرگ‌تر از LL۰/۹.

$$PI > ۰/۷۳ \left(LL - ۲۰\right).$$

٤-٧ روش KISHIDA

در روش KISHIDA اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی با توجه به معیارهای دانه‌بندی به شرح ذیل می‌باشد و خاک با خصوصیات زیر دارای پتانسیل روان‌گرایی بالایی است [۱۱].

٪۷۰> درصد عبوری از الک ۲۰۰ # .

٪۱۰> درصد ریزدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر.

بزرگ‌ترین نقد وارد بر روش‌های کیفی ارزیابی (KISHIDA، WONG، SEED&IDRISS&ARANGO، ANDREWS&MARTIN و TOHO&YASODA) این است که در این روش‌ها از لحاظ قرار دادن پارامترهای مربوط به حرکت زمین صرف‌نظر شده. به عبارت دیگر صرف نظر از شدت تکان‌های وارد ناشی از زلزله هر خاکی دارای ویژگی‌های فوق روان‌گرا در نظر گرفته می‌شود.

٥ پیشینه تحقیق

AHP به منظور وزن‌دهی در مسایل مشکل و دارای معیارهای چندگانه به وجود آمده؛ این متدولوژی در زمینه‌های بسیاری به‌کار گرفته شده است. AHP قادر است وزن‌های ذهنی را به هر یک از معیارهای کیفی تخصیص دهد [۱۲].

DEA نیز یک رویکرد ناپارامتریک است که به فرضیات خاصی نیاز ندارد. در این رویکرد فرض می‌شود که N واحد تصمیم‌گیری (DMU) برای ارزیابی وجود دارد و هر DMU مقادیر متفاوتی ازm نوع ورودی را برای تولید s نوع خروجی مصرف می‌کند. هدف این تکنیک، ارزیابی کارایی نسبی این واحدها با استفاده از برنامه ریزی خطی است [۱۳].

در زمینه ارتباط بین DEA و AHP تلاش‌های کمی صورت گرفته. «استرن» با ترکیب DEA و AHP تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها را گسترش داده و به‌جای دسته‌بندی واحدها به دو گروه کارا و ناکارا به رتبه‌بندی کامل آن‌ها پرداخته است [۱۳]. هم‌چنین «شانگ و سویوشی» DEA وAHP را در حسابداری به‌کار برده و جهت خروجی‌های غیر ملموس و کیفی از AHP استفاده کرده‌اند [۱۴]. به منظور انتخاب مناسب‌ترین لی اوت و حل مساله مربوط به طراحی آن از ترکیب تکنیک‌های DEA وAHP استفاده شده به گونه‌ای که پس از انتخاب شاخص‌های گوناگون جهت مقایسه مدل‌های مختلف لی‌اوت ازAHP جهت کمی کردن شاخص‌های کیفی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

به‌کار رفته و با بهره‌گیری از DEA کارایی هر یک از مدل‌ها محاسبه و بهترین آن‌ها انتخاب گردیده است [۱۲]. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده در رابطه با به‌کارگیری این دو تکنیک در زمینه اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک کار چندانی صورت نگرفته است. در این مقاله با تلفیق تکنیک‌های DEA و AHP به شناسایی روش‌های کارا و ناکارا از نظر اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک پرداخته می‌شود تا بتوان از اطلاعات آن جهت اولویت‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک استفاده نمود که متدولوژی این کار در ادامه شرح داده شده است.

٦ شرح متدولوژی

در این تحقیق جهت ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی ۷ روش (Seed، Wong، Kishida ، Seed and Idriss and Arango، Andrew and Martin ، Toho and Yasoda و Japanese) اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک با دو خروجی میزان تشابه منطقه‌ای و میزان مقبولیت از رویکردهای DEA و AHP استفاده شده است.

برای ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک بنا بر DEA فرآیند زیر انجام پذیرفته است.

جواب حاصل از این روش در صورتی قابل اعتماد است که تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده و تعداد عوامل ورودی و خروجی از قاعده‌ی زیر پیروی کند.

(متغیرهای خروجی+ متغیرهای ورودی) ۳ ≤ تعداد واحدهای تصمیم‌گیری

که شرایط فوق‌الذکر با توجه به این که مدل انتخابی BCC بدون ورودی با دو خروجی و ۷ روش (واحدهای تصمیم‌گیری) برقرار بوده است و نتایج قابل اعتماد می‌باشند.

فرآیند AHP دو شاخص کیفی «میزان تشابه منطقه‌ای» و «میزان مقبولیت» را به کمک نرم‌افزار Expert Choice به داده‌های کمی تبدیل نمود. سپس از داده‌های کمی شده به عنوان خروجی‌های DEA استفاده شد. در کاربرد روش AHP نیز برای انتخاب صحیح شاخص‌ها از AHP گروهی به‌کار رفته است. در پرسشنامه مورد استفاده یک مقیاس ۹ رتبه‌ای برای هر شاخص تعیین شد و رتبه‌ها از غیرقابل ترجیح تا به شدت قابل ترجیح گسترده بودند. به دلیل آن‌که روش AHP از اعداد ۱ تا ۹ برای درجه‌بندی حاصل مقایسه‌ها استفاده می‌کند؛ پرسشنامه‌ها در اختیار ۱۰ نفر از خبرگان قرار داده؛ و ضمن توضیح هدف کار و چگونگی استفاده از پرسشنامه‌ها، از آن‌ها خواسته شد با دقت و حوصله رتبه هر شاخص را در مقایسه تعیین کنند. سپس با استفاده از پرسشنامه‌ها، جدول مقایسات زوجی هر یک تهیه شد و بعد از آن با روش میانگین هندسی جدول مقایسات زوجی حاصل نظر هر یک از تصمیم‌گیرنده‌ها را با یکدیگر تلفیق نموده؛ و مراحل بعدی به کمک نرم‌افزار Expert Choice انجام پذیرفت. در پایان وزن‌های نسبی حاصل از نتایج نرم‌افزار Expert Choice به عنوان خروجی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA، مدل BCC بدون ورودی در نظر گرفته؛ و با استفاده از نرم‌افزار GAMS و افزونه DEA Excel Solver مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

۷ ادبیات موضوعی تحقیق

۷-۱ کارایی

کارایی یک مفهوم مدیریتی است که سابقه طولانی در علم مدیریت دارد [۱۵] و نشان می‌دهدکه سازمان چگونه از منابع خود در راستای تولید نسبت به بهترین عملکرد در مقطعی از زمان استفاده کرده است [۱۶]. با توسعه مکاتب و شیوه‌های مدیریت در طول زمان تعابیر جدیدی بر واژه کارایی افزوده شده است. فردریکوینسلو تیلور کارایی را نسبت کارکرد واقعی به استاندارد می‌داند. برای داشتن کارایی صد در صد باید به وضعیت ایده‌آل توجه داشت و با فرض این که ستاده ایده‌آل همواره بیشتر یا مساوی ستاده واقعی است؛ نسبت جدید کارایی نیز مقداری بین صفر و یک خواهد بود [۱۷].

$$E = \frac{\frac{\text{عملکرد واقعی}}{\text{زمان واقعی}}}{\frac{\text{عملکرد ایده‌آل}}{\text{زمان واقعی}}} = \frac{\text{عملکرد واقعی}}{\text{عملکرد ایده‌آل}}$$

۷-۲ تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

تصمیم گیری چند معیاره (MCDA) یک ابزار تصمیم‌گیری برای مسایل چند معیاره پیچیده می‌باشد که جنبه‌های کیفی و کمی مساله را در فرآیند تصمیم‌گیری در نظر می‌گیرد. تکنیک‌های چند معیاره ابزارهایی هستند که در زمینه نظریه تصمیم برای کمک به حل مساله ایجاد شده‌اند. به کمک آن‌ها اولویت‌های یک تصمیم‌گیرنده برای انتخاب یک گزینه از بین چند گزینه که معمولاً موضوعات متفاوتی دارند به صورت سیستماتیک مدل سازی می‌شود [۱۸].

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یک تکنیک ریاضی برای تصمیم‌گیری چند معیاره است که فرد را قادر می‌سازد تا تصمیماتی را مانند برنامه‌ریزی، اولویت گذاری و انتخاب بهترین گزینه اتخاذ کند. AHP برای وزن‌دهی نسبی معیارها و وزن‌دهی نسبی ارزیابان استفاده می‌شود. AHP تصمیم‌گیری در مورد بخش‌های مهم یک مساله را به صورت یک ساختار سلسله مراتبی ارایه می‌کند. این روش تصمیم‌های پیچیده را به مقایسات زوجی ساده تبدیل می‌نماید. با تجزیه و تحلیل این مقایسات، AHP می‌تواند شما را برای رسیدن به بهترین تصمیم یاری کند [۱۹].

از مزایای تحلیل سلسله مراتبی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. امکان فرموله کردن مساله و تجدید نظر در آن را داراست.
۲. گزینه‌های مختلف را در نظر می‌گیرد.
۳. معیارهای مختلف را (که عموماً در تضاد نیز هستند) در نظر می‌گیرد.
۴. معیارهای کمی و کیفی را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

۵. نظرات افراد مختلف را در مورد گزینه‌ها و معیارها لحاظ کرده، بر مبنای تئوری قوی استوار می‌باشد.

روش مذکور شامل چهار مرحله اصلی است:

الف- تعریف مساله، ب- تعیین و انتخاب معیارها، ج- محاسبه‌ی وزن‌های نسبی (۱- انجام مقایسات زوجی (جدول ۱). ۲- محاسبه‌ی وزن‌های نسبی)، د- مقایسه گزینه‌های تصمیم.

محاسبه وزن‌های نسبی شامل سه مرحله است. در ماتریس مقایسه زوجی، ابتدا جمع هر ستون محاسبه می‌شود. سپس ماتریس با تقسیم هر درایه بر مجموع ستون متناظرش نرمال می‌شود و در نهایت میانگین درایه‌های هر سطر از ماتریس نرمال شده به عنوان وزن نسبی هر معیار محاسبه می‌گردد.

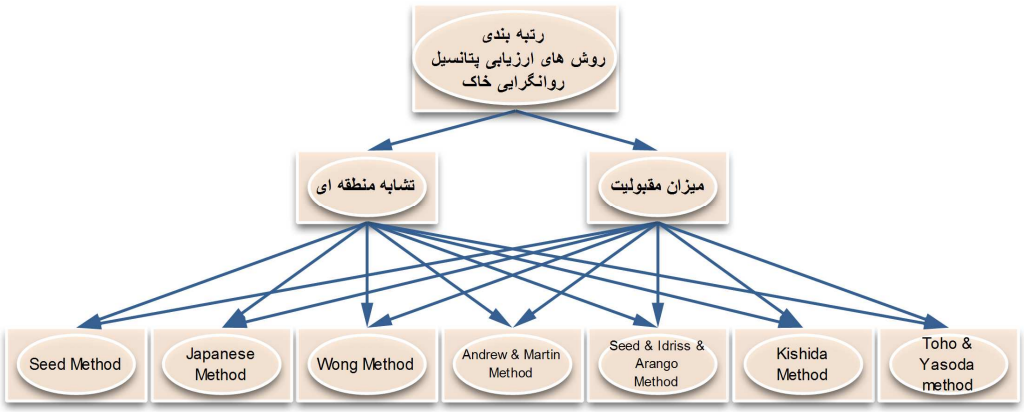
جدول ۱. مقایسه عددی برای قضاوت‌های زوجی

شدت اهمیت	۱	۳	۵	۷	۹	۲،۴،۶،۸
تعریف	ترجیح یکسان	کمی مرجح	ترجیح قوی	ترجیح خیلی قوی	کاملاً مرجح	ترجیحات بین فواصل

برای ارزیابی سازگاری قضاوت‌های زوجی، بردار سازگاری محاسبه شده، مقدار ویژه آن λ به‌دست می‌آید. سپس نسبت سازگاری از رابطه شماره (۱) تعیین می‌شود:

$$CR = \frac{(\lambda - n)}{RI\,(n - ۱)} \qquad (۱)$$

که در آن RI شاخص تصادفی است که به ازای n برابر ۳ و ۸ به ترتیب ۰/۵۸ و ۱/۴۱ می‌باشد (ساعتی، ۱۹۸۰). نسبت سازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد؛ در غیر این صورت باید در تصمیم‌گیری‌ها تجدید نظر کرد [۱۹].



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی برای ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک

شکل درخت سلسله مراتبی در بالا ارایه شده. هدف از این روش سنجش کارایی روش‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

۳-۷ تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

تاریخچه روش تحلیل پوششی داده‌ها به موضوع رساله دکتری رودز به راهنمایی کوپر بر می‌گردد که عملکرد مدارس دولتی ایالات متحده آمریکا را مورد ارزیابی قرار داد. این مطالعه منجر به چاپ اولین مقاله درباره معرفی عمومی تحلیل پوششی داده‌ها در سال ۱۹۷۸ میلادی گردید. در این مقاله، سه متخصص تحقیق در عملیات از طریق برنامه‌ریزی ریاضی، اندازه‌گیری کارایی را معرفی کردند. روش تحلیل پوششی داده‌ها با جامعیت بخشیدن به روش فارل، به گونه‌ای که خصوصیت فرآیند تولید با چند عامل تولید (نهاده) و چند محصول (ستاده) را در برگیرد؛ به ادبیات اقتصادی اضافه گردید. با پیشرفت و تکامل این روش، در حال حاضر، تحلیل پوششی داده‌ها یکی از حوزه‌های فعال تحقیقاتی در اندازه‌گیری کارایی بوده، به طور چشمگیر مورد استقبال پژوهشگران جهان قرار گرفته است. این روش برای ارزیابی عملکرد سازمان‌های دولتی و غیرانتفاعی که اطلاعات قیمتی آن‌ها معمولاً در دسترس نیست یا غیرقابل اتکاست؛ کاربرد قابل ملاحظه‌ای دارد. چارنز، کوپر و رودز در مقاله خود تحلیل پوششی داده‌ها را چنین تعریف کردند: «تحلیل پوششی داده‌ها یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به کار گرفته شده برای داده‌های مشاهده شده است که روش جدیدی برای تخمین تجربی مرز کارایی را همچون تابع تولید فراهم می‌سازد که پایه اقتصاد مدرن است» [۲۰].

بنابراین، تحلیل پوششی داده‌ها یک روش برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. منظور از واحد تصمیم‌گیرنده، یک واحد سازمانی یا یک سازمان مجزاست که توسط فردی به نام مدیر یا رییس یا مسئول اداره می‌شود؛ به شرط آن‌که این سازمان یا واحد سازمانی دارای فرآیند سیستمی باشد. با توجه به این‌که سیستم مورد نظر شامل سیستم‌های تولیدی و خدماتی یا انتفاعی یا غیرانتفاعی یا دولتی یا غیردولتی می‌شود. لذا در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها به منظور جلوگیری از پراکنده کاری، به جای عوامل ورودی سیستم از مفهوم نهاده و به جای محصولات خروجی سیستم از مفهوم ستاده استفاده می‌شود. تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده این فرض را قائل است که واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت بررسی، نهاده مشابهی را برای تولید ستاده‌های مشابه به کار می‌گیرند. می‌دانیم که تابع تولید در اقتصاد، ارتباط بین ستاده و نهاده یک سیستم را بیان می‌کند و نشانگر بیشترین ستاده‌ای است که می‌تواند با ترکیب‌های مختلف از نهاده‌ها به دست آید. اگر این تابع در دسترس و معلوم باشد؛ بیان نسبت‌های نهاده- ستاده به منظور به‌دست آوردن کارایی سیستم ساده خواهد بود. ولی در بسیاری از اطلاعات، این تابع در دسترس نیست و ارایه آن پیچیده و یا حتی غیرممکن است. در تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از مشاهدات، یک تابع تولید تجربی از روی داده‌های مشاهده‌شده، ساخته می‌شود. این روش یک تابع مرزی به‌دست می‌دهد که تمام داده‌ها را شامل می‌گردد و به همین دلیل آن را تحلیل پوششی یا تحلیل فراگیر می‌نامند. از طرف دیگر، چون روش تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مجموعه‌ای از مسایل بهینه‌سازی است و در این مسایل هیچ‌گونه پارامتری جهت تخمین وجود ندارد. لذا این روش یک روش غیر پارامتری است [۲۱].

در مدل‌های DEA راهکار بهبود برای واحدها رسیدن به مرز کارایی می‌باشد در حقیقت برای بهبود عملکرد واحدهای ناکارا بایستی تمهیداتی اندیشیده شود تا عملکرد واحدهای مزبور به مرز کارایی برسند. مرز

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

کارایی، متشکل از واحدهایی با اندازه کارایی یک است که برخی از واحدهای آن حقیقی و برخی از آن‌ها مجازی هستند. واحد مجازی، واحدی است که هر چند عینیت نیافته است لیکن با مجموعه واحدهای تجربه شده امکان بروز تحقق چنین واحدی وجود دارد. از این رو، راهکار بهبود واحدهای ناکارا، با تصویر نمودن واحد مورد نظر به مرز کارایی بر روی یک واحد واقعی بر روی مرز و یا یک واحد مجازی میسر است. در نظر داشته باشیم که واحدهای حقیقی را که روی مرز کارایی قرار گرفته‌اند و به عنوان الگو و آرمان برای واحدهای ناکارا برای رسیدن به مرز کارایی استفاده می‌شوند؛ واحدهای نشانه یا واحدهای مرجع می‌نامند. هم‌چنین منطقه‌ای را که شامل مرز کارایی، همراه با نقاط موجود یا نقاط ممکن زیر آن باشد را مجموعه امکان تولید (PPS) می‌نامند. هدف اصلی DEA، مقایسه و ارزیابی تعدادی از واحدهای تصمیم‌گیرنده مشابه یکدیگر است که مقدار ورودی‌های مصرفی و خروجی‌های تولیدی متفاوتی دارند. این واحدها می‌توانند شعب یک بانک، مدارس، بیمارستان‌ها، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های برق، ادارات تحت پوشش یک وزارتخانه و یا کارخانه‌های متشابه باشند [۲۲].

۷-٤ مدل‌های اساسی DEA

مدل‌هایی که تاکنون در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها شکل گرفته و توسعه یافته است به سه دسته مجزا قابل تقسیم می‌باشند؛ فرم نسبتی، فرم مضربی و فرم پوششی. اما نظر به عدم امکان معرفی کامل این مدل‌ها در این بحث مختصر و عدم استفاده از تمامی آن‌ها در تحقیق حاضر، بحث مطالعه بیشتر در این خصوص به خواننده واگذار می‌شود و در ادامه تنها فرم ریاضی مدل‌های پوششی اساسی استفاده‌شده در این تحقیق آمده است.

۷-٤-۱ فرم پوششی مدل BCC در ماهیت خروجی

این مدل توسط سه محقق به نام‌های بنکر، چارنز و کوپر به عنوان مدلی با بازده به مقیاس متغیر توسعه داده شد. هم‌چنین عنوان این مدل از حروف اول نام سه محقق فوق گرفته شده است [۲۳].

فرم پوششی BCC به صورت مدل ریاضی زیر نشان داده می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&Max \quad \phi \\
&s.t. \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le x_{io}, \qquad i = 1,\dots,m, \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge \phi y_{ro}, \qquad r = 1,\dots,s, \qquad (2)\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \\
&\lambda_j \ge 0, \qquad j = 1,\dots,n, \\
&\phi, \qquad free.
\end{aligned}
$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

در این مدل بازده به مقیاس متغیر توسط اضافه شدن محدودیت $\sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1$ به فرم پوششی مدل CCR (مدل DEA با بازده به مقیاس ثابت) امکان‌پذیر شده است. این محدودیت مرز BCC را به صورت خط شکسته ترسیم می‌نماید [۲۴].

جهت به‌دست آوردن مقدار کارایی واحدهای مختلف بایستی مدل فوق را برای تعداد واحدهای تصمیم‌گیری حل و مقدار هدف به‌دست آمده را در هربار معکوس نمود. به‌عبارت دیگر برای واحد تحت بررسی داریم:

$$\text{مقدار کارایی} = \frac{1}{\phi^*}$$

به طوری که ϕ^* مقدار بهینه‌ی مدل (۱) می‌باشد.

۷-٤-۲ مدل‌های شعاعی بدون ورودی یا بدون خروجی در DEA

متدولوژی DEA اساساً برای ارزیابی کارایی نسبی سیستم‌های تولیدی و خدماتی مشابه شکل گرفته است [۲۰]. با این وجود آدلفسون و همکاران در سال ۱۹۹۱ بیان داشتند که می‌توان نگرش جامع‌تری را نسبت به این متدولوژی اتخاذ کرده؛ آن را برای مقایسه هر مجموعه همگن از واحدها با ابعاد چندگانه به‌کار برد. این نگرش جامع برای اولین بار توسط تامسون و همکاران در سال ۱۹۸۶ جهت تعیین مکان مناسب برای تجهیزات مخابراتی در ایالت تگزاس به‌کار برده شد. این نویسندگان شش مکان بالقوه را برای این تجهیزات در نظر گرفتند و برای ارزیابی این مکان‌ها ورودی‌های سه‌گانه‌ای اختیار نمودند و خروجی هر مکان را برابر واحد (۱) فرض کردند. با توجه به این که خروجی ثابت تأثیری در کارایی نسبی واحدها ندارد؛ پس از آن آدولفسون و همکاران تلاش نمودند این مساله جایابی را به عنوان یک مدل با تنها ورودی و بدون خروجی حل کنند. پس از آن‌ها دو نفر از محققان به نام‌های لاول و پاستور این سری مدل‌ها را بررسی و سیر تکاملی آن‌ها را بیان نمودند. با توجه به این که مدل‌های شعاعی بدون ورودی (بدون خروجی) تنها در فرم پوششی عنوان می‌شوند به بیان فرم پوششی این مدل‌ها که در پژوهش حاضر به‌کار رفته است؛می‌پردازیم [۲۵].

۷-٤-۲-۱ مدل BCC بدون ورودی (بدون خروجی)

بدیهی است یک مدل DEA با ماهیت خروجی و بدون ورودی و یا با ماهیت ورودی و بدون ورودی بی‌مفهوم است. بنابراین هنگامی که یک مدل DEA بدون ورودی را بررسی می‌نماییم منظور مدل با ماهیت خروجی است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

$$
\begin{aligned}
&Max \quad \phi \\
&s.t. \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{ro}, \qquad r = 1,...,s, \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \\
&\lambda_j \geq 0, \qquad j = 1,...,n, \\
&\phi, \qquad free.
\end{aligned}
\tag{۳}
$$

به دلیل وجود فرض تحدب در مدل BCC وجود یا عدم وجود یک ورودی ثابت منحصربه‌فرد در مدل BCC با ماهیت خروجی یکسان است. بدین مفهوم که مدل BCC با ماهیت خروجی (با ماهیت ورودی) دارای یک ورودی (خروجی) ثابت منحصربه‌فرد با یک مدل BCC دارای ماهیت خروجی (ماهیت ورودی) بدون ورودی (بدون خروجی) یکسان می‌باشد. علاقه‌مندان برای فهم نحوه اثبات مفهوم فوق می‌توانند به منبع [۲۵] مراجعه نمایند.

۷-٤-۲-۲ معرفی خروجی‌ها

در این تحقیق با استفاده از یکی از روش‌های برنامه‌ریزی خطی ناپارامتری به نام DEA کارایی فنی بر اساس مدل BCCبدون ورودی، برای ۷ روش اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک محاسبه شده است. خروجی‌ها عبارتند از:

دو معیار تشابه منطقه‌ای و میزان مقبولیت روابط و زیرمعیارهای ارجاع مقالات به روابط فوق، گستره کاربرد رابطه جغرافیایی که رابطه برای آن ارایه شده است و از آن استفاده می‌کند؛ کمی و کیفی بودن رابطه، نوع خاک (خاک‌های خاص یا انواع مختلف خاک)، تشابه منطقه‌ای (تشابه منطقه مورد بررسی با منطقه‌ای که رابطه برای آن ارایه شده است)، تشابه لرزه‌خیزی و میزان شتاب ماکزیمم صورت گرفته است.

داده‌های مربوط به دو خروجی فوق‌الذکر پس از محاسبه با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

جدول ۲. مقادیر خروجی‌های محاسبه شده با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

	Accept	Similar
Seed Method	۰/۱۶۹	۰/۰۱۵۷
Japanese Method	۰/۱۶۳	۰/۰۱۵۲
Wong Method	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷
Andrew & Martin Method	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸
Seed & Idriss & Arango Method	۰/۰۴۳	۰/۰۴۸
Kishida Method	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵
Toho & Yasoda Method	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

۸ نتایج

نتایج حاصل از ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک در دو بخش زیر شرح داده شده است.

۸-۱ نتایج روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک بنا بر تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

نتایج رتبه‌بندی ۷ روش اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک بنا بر تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice به صورت زیر می‌باشد.

جدول ۳. تعریف گزینه‌ها و شاخص‌ها در نرم‌افزار Expert Choice

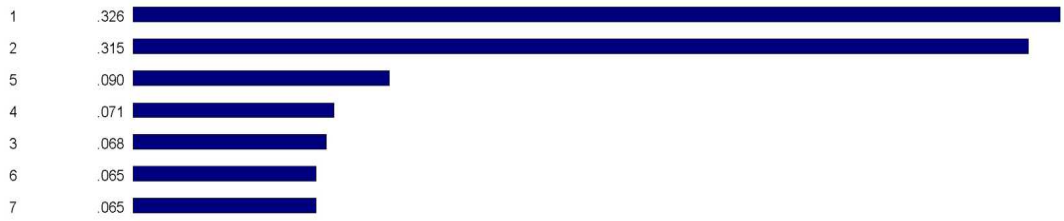
evaluation and ranking - liquifaction methodes

Synthesis of Leaf Nodes with respect to GOAL

Distributive Mode

OVERALL INCONSISTENCY INDEX = 0.01

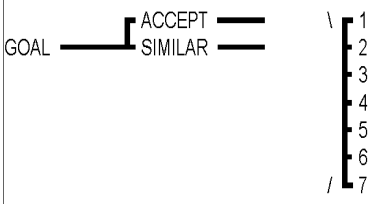
LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	LEVEL 4	LEVEL 5
ACCEPT =.500				
	1 =.169			
	2 =.163			
	5 =.043			
	4 =.033			
	3 =.031			
	6 =.030			
	7 =.030			
SIMILAR =.500				
	1 =.157			
	2 =.152			
	5 =.048			
	4 =.038			
	3 =.037			
	6 =.035			
	7 =.035			



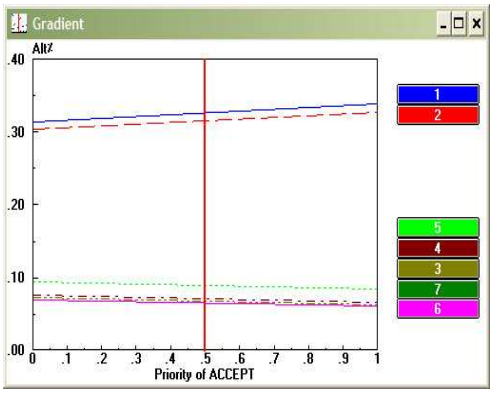
جدول ٤. نتایج رتبه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

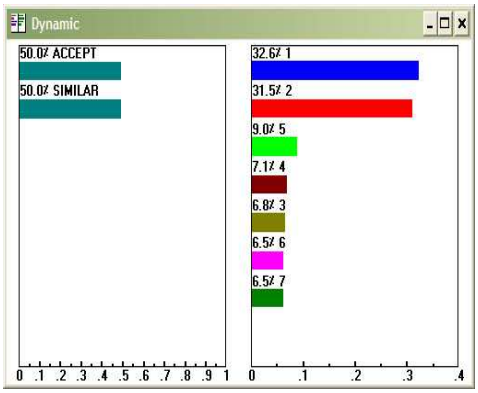
evaluation and ranking - liquifaction methodes



Abbreviation	Definition
GOAL	
1	seed methode
2	japanese methode
3	wong methode
4	andrew and martin methode
5	seed and idriss and arango methode
6	kishida methode
7	toho and yasoda methode
ACCEPT	the acceptance rate of methode
SIMILAR	similarity of regional

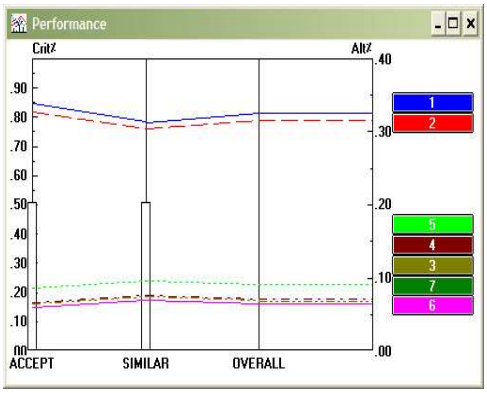


شکل ۲. تحلیل حساسیت بر اساس شیب

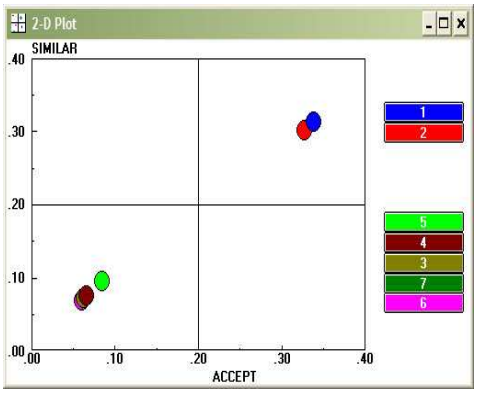


شکل ۳. تحلیل حساسیت پویا

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]



شکل ٤. تحلیل حساسیت بر اساس عملکرد



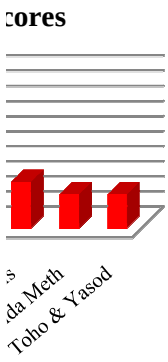
شکل ٥. تحلیل حساسیت دو بعدی

۸-۲ نتایج روش‌های اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک بنا بر تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

با استناد به نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تبدیل داده‌های کیفی به کمی و به کار بردن داده‌های کمی شده در مدل BCC بدون ورودی (مدل شماره (۳))، نتایج محاسبه کارایی ۷ روش اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک با استفاده از نرم‌افزار GAMS به صورت زیر می‌باشد.

جدول ٥. Efficiency scores

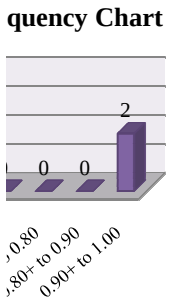
Efficiency scores	
Seed Method	۱/۰۰۰
Japanese Method	۰/۹۶۸۲
Wong Method	۰/۲۳۵۷
Andrew & Martin Method	۰/۲۴۲۰
Seed & Idriss & Arango Method	۰/۳۰۵۷
Kishida Method	۰/۲۲۹
Toho & Yasoda Method	۰/۲۲۹



شکل ٦. Efficiency Scores Chart

جدول ٦. Score Frequencies

Score frequencies	
up to 0.10	۰
0.10+ to 0.20	۰
0.20+ to 0.30	۴
0.30+ to 0.40	۱
0.40+ to 0.50	۰
0.50+ to 0.60	۰
0.60+ to 0.70	۰
0.70+ to 0.80	۰
0.80+ to 0.90	۰
0.90+ to 1.00	۲



شکل ۷. Efficiency Scores Frequency Chart

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

جدول ۷. مقادیر متناظر با slack های مساله

Input/ outpout slacks		
	Accept	Similar
Seed Method	۰/۰۰	۰/۰۰
Japanese Method	۰/۰۰	۰/۰۰
Wong Method	۰/۰۴	۰/۰۰
Andrew & Martin Method	۰/۰۳	۰/۰۰
Seed & Idriss & Arango Method	۰/۰۳	۰/۰۰
Kishida Method	۰/۰۳	۰/۰۰
Toho & Yasoda Method	۰/۰۳	۰/۰۰

جدول ۸. Efficient peers and weights

Efficient peers and weights	Seed Method
Seed Method	۱/۰۰۰۰
Japanese Method	۱/۰۰۰۰
Wong Method	۱/۰۰۰۰
Andrew & Martin Method	۱/۰۰۰۰
Seed & Idriss & Arango Method	۱/۰۰۰۰
Kishida Method	۱/۰۰۰۰
Toho & Yasoda Method	۱/۰۰۰۰

جدول ۹. Improvement Table

Improvement Table	Accept	Similar
Seed Method	۰/۱۶۹to۰/۱۶۹	۰/۱۵۷to ۰/۱۵۷
Japanese Method	۰/۱۶۳ to ۰/۱۶۹	۰/۱۵۲ to ۰/۱۵۷
Wong Method	۰/۰۳۱ to ۰/۱۶۹	۰/۰۳۷ to ۰/۱۵۷
Andrew & Martin Method	۰/۰۳۳ to ۰/۱۶۹	۰/۰۳۸ to ۰/۱۵۷
Seed & Idriss & Arango Method	۰/۰۴۳ to ۰/۱۶۹	۰/۰۴۸ to ۰/۱۵۷
Kishida Method	۰/۰۳ to ۰/۱۶۹	۰/۰۳۵ to ۰/۱۵۷
Toho & Yasoda Method	۰/۰۳ to ۰/۱۶۹	۰/۰۳۵ to ۰/۱۵۷

جدول ۱۰. ورودی/خروجی‌های مجازی

Virtual inputs/ outputs	Accept		Similar	
Seed Method	۰/۱۶۹	٪۰/۰۰	۰/۱۵۷	٪۰/۰۰
Japanese Method	۰/۱۶۹	٪۳/۶۸	۰/۱۵۷	٪۳/۲۹
Wong Method	۰/۱۶۹	٪۴۴۵/۱۶	۰/۱۵۷	٪۳۲۴/۳۲
Andrew & Martin Method	۰/۱۶۹	٪۴۱۲/۱۲	۰/۱۵۷	٪۳۱۳/۱۶
Seed & Idriss & Arango Method	۰/۱۶۹	٪۲۹۳/۰۲	۰/۱۵۷	٪۲۲۷/۰۸
Kishida Method	۰/۱۶۹	٪۴۶۳/۳۳	۰/۱۵۷	٪۳۴۸/۵۷
Toho & Yasoda Method	۰/۱۶۹	٪۴۶۳/۳۳	۰/۱۵۷	٪۳۴۸/۵۷

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

۸-۳ مقایسه نتایج تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

هدف اصلی این تحقیق، مقایسه رویکردهای DEA و AHP در اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک است که نتایج مقایسه این دو رویکرد در جدول (۱۱) ارایه شده که بیان‌گر مطابقت کامل در رتبه‌بندی دو رویکرد می‌باشد.

جدول ۱۱. مقادیر کارایی و رتبه‌بندی ۷ روش اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک بنا بر AHP&DEA

NO	Name Method	کارایی DEA	رتبه‌بندی DEA	کارایی AHP	رتبه‌بندی AHP
۱	Seed Method	۱/۰۰۰۰	۱	۰/۳۲۶	۱
۲	Japanese Method	۰/۹۶۸۲	۲	۰/۳۱۵	۲
۳	Wong Method	۰/۲۳۵۷	۵	۰/۰۶۸	۵
٤	Andrew & Martin Method	۰/۲۴۲۰	۴	۰/۰۷۱	۴
٥	Seed & Idriss & Arango Method	۰/۳۰۵۷	۳	۰/۰۹۰	۳
٦	Kishida Method	۰/۲۲۲۹	۶	۰/۰۶۵	۶
۷	Toho & Yasoda Method	۰/۲۲۲۹	۷	۰/۰۶۵	۷

۹ نتیجه‌گیری

همان‌طور که در متن مقاله بدان اشاره شد؛ مقایسه فنون مهم تصمیم‌گیری از محورهای جدید و شایع در علوم مدیریت است تا از منظر این مقایسات، محدودیت‌ها، توانایی‌ها، نقاط قوت و ضعف روش‌های مختلف شناخته و در جهت بهبود آن‌ها تلاش شود. هدف این تحقیق، به کار گرفتن دو روش از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بوده و در این راستا به شناسایی معیارها و رتبه‌بندی ۷ روش اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک پرداخته شده است. در این پژوهش علاوه بر استفاده از AHP برای تبدیل داده‌های کیفی به کمی (برای خروجی‌های DEA) اقدام به رتبه‌بندی ۷ روش اندازه‌گیری پتانسیل روان‌گرایی خاک و مقایسه با DEA نموده است. که نتایج حاکی از این بود که در شرایط این تحقیق هر دو رویکرد DEA و AHP دارای رتبه‌بندی یکسانی بودند.

منابع

[۱] کسایی، م.، خبازی حسینی، م.، (۱۳۷۹). ارزیابی عملکرد سازمان‌های خدماتی با روش تحلیل پوششی داده‌ها. سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت کیفیت، تهران، ۴۳ – ۳۲.

[۲] آذر، ع.، موتمنی، ع.، (۱۳۸۳). اندازه‌گیری بهره‌وری در شرکت‌های تولیدی به وسیله مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها. دو ماهانه علمی پژوهشی دانشگاه شاهد، تهران، ۸(۱۱)، ۶۲ – ۴۵.

[۳] علیرضایی، م.، جعفری، س.، (۱۳۷۹). تحلیل پوششی داده‌ها ابزاری کارآمد در ارزیابی عملکرد دستگاه‌های اجرایی. دومین همایش ارزیابی عملکرد دستگاه‌های اجرایی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ۸۴ – ۷۰.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]

[۴] توکلی مقدم، ر.، صادق عمل نیک، م.، رفعتی، م . ع.، اردیبهشت ماه (۱۳۸۳). متدولوژی به‌کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها در سازمان‌های تحقیقاتی. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ۱(۳۸)، ۱۸۵ – ۱۵۷.

[۵] علیرضایی، م. ر.، علیزاد صانع، ن.، (۱۳۷۹). ارزیابی عملکرد بانک‌ها با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها. دومین همایش ارزیابی عملکرد دستگاه‌های اجرایی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، تهران، ۳۹ – ۳۰.

[۶] امامی میبدی، ع.، ایزدی، ز.، تابستان (۱۳۸۷). اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری پالایشگاه‌های نفت ایران. فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۵(۱۷)، ۵۶ – ۳۱.

[۷] سامتی، م.، رضوانی، م. ع.،پاییز و زمستان (۱۳۸۰). بررسی کارایی دانشگاه‌های بزرگ دولتی ایران با استفاده از روش DEA. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۵۹، تهران، ۱۲۷ – ۱۱۷.

[۸] میر محمد حسینی، م.، درخشندی، م.، (۱۳۸۵). راهنمایی مقاوم‌سازی زمین‌های سست در برابر روان‌گرایی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[۹] نورزاد، ع.، جلال، م.، (۱۳۸۹). روان‌گرایی خاک یافته‌ها و دستاوردهای نوین. تهران، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور.

[۱۰] نائینی، س.، (۱۳۷۵)، دینامیک خاک ،BRAJA.M.DAS. تهران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، چاپ اول، ۴۹۱ – ۴۵۲.

[۱۱] انصاری، ز.، (۱۳۸۹). ارزیابی پتانسیل روان‌گرایی در خاک‌های رسی مطالعه موردی ایستگاه جزیره مینو. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

[۲۱] فضلی، ص.، آذر، ع.، (۱۳۸۱)، طراحی مدل ریاضی ارزیابی عملکرد مدیر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA). نشریه مدرس، ۶(۳)، ۱۲۴ - ۹۹.

[۲۶] جهانشاهلو، غ.، حسین‌زاده لطفی، ف.، نیکومرام، ه.، (۱۳۸۷). تحلیل پوششی داده‌ها و کاربردهای آن (جلد ۱). تهران، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

[۲۷] قدسی پور، ح.، (۱۳۸۶). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[12] Taho Y., Kuo, C., (2001). A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. European Journal of Operational Research, 147, 128-136.

[13] Sinuany-Stern, Z., Hadad, Y., (2000). An AHP/DEA methodology for ranking decision making units. International Transactions in Operational Research, 7, 109-124.

[14] Shang, J., Sueyoshi, T., (1995). A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system. European journal of operational research, 85, 297-315.

[15] Witzel, M., (2002). A Short History of Efficiency, Business Strategy Review. 13(4), 38- 47.

[16] Pierce., (1996). Efficiency Progress in the Newsothwale Government. Internet www.treesury.nsw.gov.edu.

[17] Sumanth., (1994). Productivity Engineering and Management. New York: Mc Grawhill.

[18] Garfi, M., Tondelli, S., Bonoli, A., (2009). Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps. Waste Management, 29, 2729–2739.

[19] Carlsson, C., Walden, P., (1995). AHP in political group decisions: a study in the art of possibilities. Interfaces, 25 (4) , 14–29.

[20] Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E., (1978). Measuring the Efficiency of Decision-Making Units. European Journal of Operational Research, Vol. 2, No. 6, 429-444.

[22] Yen lee, J., (2008). Application of the three-stage DEA in Measuring Efficiency, an Empirical Evidence. applied Economics Letters, 15.

[23] Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Manag Sci, 30, 1078 -92.

[24] Bawlin, W. F., (2004). Measuring Performance: An introduction to data envelopment analysis. Departmwnt of Accounting, University of Norton Ioma, 1-27.

[25] Lovell, C. A. K., Pastor, J. T., (1999). Radial DEA models without inputs or without outputs .European Journal of Operational Research, 118. 46-51.

[28] Khodabakhshi, M., Aryavash, K., (2012). Ranking all units in data envelopment analysis. Applied Mathematics Letters, 25(12), 2066–2070.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-11-03]