تحلیل کارایی با حضور خروجی های نامطلوب در فضای عدم قطعیت

چکیده

تحلیل پوششی داده ها روشی برای اندازه گیری کارایی نسبی مجموعه هایی از واحدهای تصمیم گیری متجانس می باشد. مدل های اولیه تحلیل پوششی داده ها به صورت یک مرحله ای در نظر گرفته می شد، اما در اغلب کاربردهای واقعی، فرایندهای تولید چند مرحله ای هستند، به طوری که خروجی یک مرحله، ورودی مرحله بعد می شود. در میان تولید خروجی ها، خروجی های نامطلوب نیز تولید می شوند. به منظور مقابله با تولید خروجی های نامطلوب از روش های مختلفی مانند فرض دسترسی پذیری ضعیف و فرض دسترسی پذیری مدیریتی و ... استفاده می شود. در این مطالعه کارایی یک شبکه دو مرحله ای با خروجی های نامطلوب با دو رویکرد دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی بر روی مدل راسل و بر روی داده های تصادفی برگرفته از نیروگاه های ایران است، بررسی شده است. در سطح اطمینان ۰.۰۵ و ۰.۱ روی داده های آماری برگرفته از این شبکه کاراتر ازسطح اطمینان۰.۰۱ است.

کلمات کلیدی: کارایی- دسترسی پذیری ضعیف- دسترسی پذیری مدیریتی- خروجی های نا مطلوب- مدل راسل- تحلیل پوششی داده های تصادفی

۱-مقدمه

نیروگاه های حرارتی در توسعه اقتصادی کشور نقش مهمی دارند. نیروگاه ها تامین کننده اصلی برق پایدار هستند که برای رشد صنایع و کسب و کار ضروری هستند. این نوع از برق به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای کمک می کند و منابع طبیعی را برای نسل های آینده حفظ می کند. یکی از فاکتور های مهم در این زمینه مقابله با آلاینده ها است. روشی نیاز است که بتواند رویکردهایی جهت مواجه با چنین عوامل نامطلوبی را ارائه دهد و کارایی واحد های تصمیم گیرنده را اندازه گیری کند وآن ها را تحلیل و رتبه بندی نماید. مطالعات گذشته نشان می دهد که روش های بسیاری در این زمینه ارائه شدند. این روش ها را به دو دسته پارامتریک و غیر پارامتریک می توان دسته بندی کرد. که در این میان یک روش غیرپارامتریک که مبتنی بر برنامه ریزی خطی است گسترش یافت و تحلیل

پوششی داده ها [۱] نامیده شد. تحلیل پوششی داده ها یک تکنیک ریاضی، جهت ارزیابی واحدها و تشخیص مرزهای کارا و اندازه گیری نسبی واحدها است. تحلیل پوششی داده ها در ابتدا برای اندازه گیری کارایی یک واحد [۲] بدون در نظر گرفتن ساختار داخلی آن معرفی شد، به طوری که ورودی ها برای تولید خروجی ها مصرف می شدند و عملیات داخلی واحدها در عملکرد موثر نبودند. این مدل های سنتی تحلیل پوششی داده ها "جعبه سیاه"[۳] نام گذاری شدند. در بسیاری از کاربردهای عملی تحلیل پوششی داده ها، فرایند های تولید ساختار دو مرحله ای دارند به این ترتیب که در مرحله اول ورودی ها برای تولید خروجی هایی که به عنوان ورودی مرحله دوم هستند، مصرف می شوند. مدل های سنتی CCR[۴] و BCC[۵] معرفی شدند، هدف مدل های مذکور اندازه گیری کارایی واحدهای متجانسی بود که ورودی های چندگانه را برای تولید خروجی ها مصرف می کردند. درکاربردهای واقعی مشاهده می شود که در هر مرحله در کنار تولید خروجی های مطلوب، خروجی های نامطلوب[۶] نیز تولید می شوند. در اکثر مدل های ساده ی دو مرحله ای شبکه ای، ورودی ها و خروجی ها از جنس کاهش پذیر و افزایش پذیر هستند. در مواجهه با تولید خروجی های نامطلوب، از روش های مختلفی مانند فرض دسترسی پذیری ضعیف[۷] ، فرض دسترسی پذیری مدیریتی[۸] ، فرض دسترسی پذیری قوی[۹] و ... استفاده می شود. در بعضی از ساختارها هریک از این اصول به تنهایی استفاده می شوند و در برخی دیگر از ترکیب این روش ها استفاده می شود. در تحلیل پوششی داده ها استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف در ساخت مجموعه امکان تولید[۱۰] ، روشی متداول برای مواجهه با خروجی نامطلوب است. در این روش با کاهش سطح فعالیت، خروجی های نامطلوب کاهش می یابند. روش دیگر برای کاهش خروجی نامطلوب، استفاده از فرض دسترسی پذیری مدیریتی است که در این روش با افزایش ورودی ها، خروجی های نامطلوب کاهش و خروجی های مطلوب افزایش می یابند. به علاوه در محاسبه کارایی با روش

۱.DEA: data envelopment analysis

۲ .DMU: decision making unit

۳ .Black Box

٤.CCR: Cooper, Charnes, Rohdes

٥.BCC: Banker, Cooper, Charnes

٦. Undesirable output

۷. weak disposability

۸. managerial disposability

۹. strong disposability

۱۰. PPS: production possibilities set

تحلیل پوششی داده ها،گاهی کاهش یا افزایش ورودی ها و خروجی ها با نسبتی معین صورت نمی پذیرد. به مدل هایی که امکان تغییرغیرمتناسب را در ورودی ها وخروجی ها فراهم می کنند، مدل های غیرشعاعی گفته می شود. یکی از این مدل های پرکاربرد، مدل راسل است که به انقباض ورودی ها و انبساط خروجی ها توجه دارد. مدل های تحلیل پوششی داده ها را با توجه به نوع داد ه ها می توان به دو نوع تقسیم بندی کرد. نوع اول تحلیل پوششی داده های قطعی[۱۱] که با داده های قطعی سرو کار دارند و نوع دوم مدل های تحلیل پوششی داده های تصادفی[۱۲] که با فضای عدم قطعیت و داده های تصادفی مواجهه می شوند. با توجه به اهمیت نیروگاه ها در کشور و مواجهه با آلاینده ها وتلفاتی که در مسیر تولید برق ایجاد می شودلازم بود به بررسی عملکرد کارایی نیروگاه های پرداخته شود و بدین منظور دو روش جهت مقابله با آلاینده ها وتلفات در نیروگاه ها ارائه شد. هدف تحقیق پیش رو، مقایسه کارایی نیروگاه ها در سه سطح اطمینان است. داده ها از ۲۱ نیروگاه ایران جمع آوری شد سپس با حضور خروجی نامطلوب کارایی حاصل از دو روش دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی بر روی مدل راسل با داده های تصادفی در سه سطح اطمینان محاسبه و در مرحله بعد با هم مقایسه شدند. در زمینه استفاده از اصول دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی و شبکه های چند مرحله ای و مدل راسل و تحلیل پوششی داده های تصادفی و کارایی نیروگاه ها تحقیقات فراوانی انجام شده است که در ادامه به مرور آن پرداخته می شود.

.....

2.DDEA: Deterministic DEA

3.SDEA:Stochastic DEA

۱-۱ مروری بر ادبیات

تحلیل پوششی داده ها تکنیکی غیر پارامتری مبتنی بر برنامه ریزی خطی است. تحلیل کارایی مدرن توسط فارل[۳] با معرفی اندازه کارایی تولید یک واحد معرفی شد. چارنز و همکاران[۱] و بنکر و همکاران[۲] مدل های سنتی تحلیل پوششی داده ها (CCR وBCC) را که هدفشان اندازه گیری واحدهای متجانس با ورودی ها و خروجی های چندگانه بود، معرفی کردند. تحلیل پوششی داده ها در ابتدا برای اندازه گیری کارایی یک واحد بدون در نظر گرفتن ساختار داخلی آن معرفی شد به طوری که ورودی ها برای تولید خروجی ها مصرف می شدند و عملیات داخلی واحدها در عملکرد موثر نبودند، معرفی شد. فیر و گراسکوف[۴] مدلی چند مرحله ای با متغیرهای میانی توسعه دادند که تحلیل پوششی داده های شبکه ای[۱۳] نامیده شد. تحلیل پوششی داده های شبکه ای توسط چارنز[۵] معرفی شد. با توجه به این که در کاربردهای واقعی در کنار تولید خروجی ها، خروجی های نامطلوب نیز تولید می شوند، مقابله با خروجی نامطلوب و روش های مقابله با آن حائز اهمیت است. هیلو و ویمن[۶] مدلی را تعمیم دادند که درآن با افزایش ورودی، خروجی های مطلوب و نامطلوب هر دو افزایش می یافتند. فیر و گراسکوف[۷] در پژوهشی با مطالعه رویکرد دسترسی پذیری ضعیف با استفاده از فاکتور انقباضی شفارد[۱۴][۸] سطح فعالیت واحد را کاهش دادند تا هم زمان با کاهش خروجی های مطلوب، خروجی های نامطلوب نیز کاهش یابند. ایراد بزرگ این مدل، یکسان در نظر گرفتن فاکتور انقباضی در تمام واحدها بود. کاسمانن [۹] تکنولوژی ای معرفی کرد که این مشکل را برطرف می نمود، به این معنی که برای هر واحد، فاکتور انقباضی منحصر به فرد آن واحد در نظر گرفته شد. در این تکنولوژی با کاهش سطح فعالیت ها، خروجی های نامطلوب نیزکاهش می یافت. محققان در زمینه های مختلف تحلیل پوشش داده ها، مدل هایی جهت محاسبه و ارزیابی کارایی و به کارگیری فرض دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی و... جهت مقابله با خروجی نامطلوب در صنایع مختلف از جمله نیروگاه های برق ارائه دادند، که در ادامه به بررسی این مطالعات پرداخته می شود.کوک وژو [۱۰] یک مدل برنامه ریزی برای ایجاد ضریب مشترک برای گروهی از نیروگاه های برق ارائه دادند. ضریب مشترک در بین تمام اعضای گروه مشترک بود و ویژگی ضریب مشترک به حداقل رساندن مقدار کارایی باسطح ایده آل آن بود. یانگ و پولیت[۱۱] مدل هایی جهت ارزیابی عملکرد تحلیل پوششی داده ها بر روی نیروگاه های برق در کشور چین ارائه کردند و

۱۱. NDEA: Network DEA

همزمان به بررسی نحوه برخورد با خروجی های نامطلوب و متغیرهای غیرقابل کنترل پرداختند. سویشی و همکاران[۱۲] یک مدل تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی عملکرد نیروگاه های ایالت متحده ارائه دادند. نتایج نشان دادکه استفاده از قانون هوای پاک در حفاظت از محیط زیست موثر است و افزایش عملکرد محیطی منجر به افزایش کارایی می شود و مقررات زدایی بازار در روند تجاری صنعت برق دارای اهمیت است. یانگ و همکاران[۱۳] نشان دادند که اصول دسترسی پذیری برای خروجی های نامطلوب در اندازه گیری کارایی نهایی موثرند و استفاده از اصول دسترسی پذیری متفاوت، می تواند اندازه کارایی مختلفی را تولیدکند. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف کارایی بهتری نسبت به فرض دسترسی پذیری قوی دارد. کوری و همکاران[۱۴] از روش تحلیل پوششی داد ها برای ارزیابی کارایی فنی فرودگاه های ایتالیا استفاده نمودند. ایشان نشان دادند که کارایی فرودگاه های ایتالیا بسیار پایین است در صورتی که از نظر فعالیت های مالی عملکرد بهتری دارند. یکی دیگر از روش های مقابله با خروجی نامطلوب، استفاده از فرض دسترسی پذیری مدیریتی است. در این روش با بهسازی و نوسازی تلاش می شود که از تولید خروجی نامطلوب جلوگیری شود. سویشی و همکاران[۱۵] اولین کسانی بودند که فرض دسترسی پذیری مدیریتی را ارائه دادند. آنها نشان دادند که هزینه هایی که برای نوسازی انجام می شود، بسیار کم تر از آسیبی است که خروجی های نامطلوب وارد می کنند. آنها این هزینه ها را هزینه فرصت[۱۵] نام گذاری کردند. لوزانو و همکاران[۱۶] یک مدل تحلیل پوششی داده ها برای بررسی عملکرد فرودگاه های اسپانیا ارائه دادند. نتایج نشان دادکه این مدل پیشنهادی قدرت تمایز و دقت بیشتری نسبت به نوع تک فرایندی[۱۶] خود دارد. خدابخشی ها و خیرالهی[۱۷] مدل تحلیل پوششی داده های تصادفی برای اندازه گیری کارایی دانشگاه های ایران ارائه دادند. در این مطالعه واحدها رتبه بندی شدند و نتایج کارایی حاصل از روش پیشنهادی با روش های سنتی مقایسه شدند. مقبولی و همکاران[۱۸] یک مدل تحلیل پوششی داده های دو مرحله ای را برای تحلیل عملکرد فرایندها با اندازه های میانی نامطلوب معرفی کردند. تولیدات نامطلوب در این تحقیق در دو مورد متفاوت، خروجی نهایی و اندازه های میانی بررسی شد. در زمینه ساختار داخلی مولفه های عملیاتی واحد ها،

---

۱۵. هزینه فرصت(قیمت سایه): زمانی که در مورد مصرف منابع کمیاب جهت تولید کالایی معین از کالایی دیگر چشم‌پوشی می شود، این کاهش تولید را می‌توان به منزله هزینه تولید کالای معین تلقی کرد؛ که به آن هزینه فرصت گفته می‌شود.

۱۶ .DDF: Directional Distance Factor

۱۷. Balanced Scorecard DEA

۱۸ SSCM: Sustainable Supply Chain Management

کائو[۱۹] شبکه ها را با فرم های مختلف سری، موازی، ترکیبی یا جامع دسته بندی کرد. فرم سری، که فرم مورد استفاده در این مطالعه بود به این صورت شرح داده شد: هر زیر واحد می تواند ورودی ها و محصولات میانی تولید شده توسط زیر واحد قبلی را مصرف کرده و خروجی و محصولات میانی دیگری را تولید نماید. یادو و همکاران[۲۰] یک مدل تحلیل پوششی داده های چند معیاره(MCDEA) با استفاده ازتحلیل متقاطع جهت ارزیابی عملکرد نیروگاه های هند ارائه کردند. سویشی و گوتو[۲۱] مدلی جهت مقابله با خروجی نامطلوب (گازهای نامطلوبی که در اثر سوخت زغال سنگ بی کیفیت در نیرگاه ها حاصل می شود) ارائه کردند. در این مطالعه به منظور مقابله با خروجی های نامطلوب، دو فرض دسترسی پذیری مدیریتی و دسترسی پذیری طبیعی با یکدیگر ترکیب شدند. نتایج این تحقیق که بر روی نیروگاه های شمال ایالت متحده انجام شد نشان داد که در بین دو فرض دسترسی پذیری مدیریتی و دسترسی پذیری طبیعی نمی توان اختلاف معنا داری یافت. کلهر و متین[۲۲] یک مدل تحلیل پوششی داده ها به منظور مقابله با خروجی نامطلوب ارائه دادند. مدل پیشنهادی با استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف، خروجی های نامطلوب را کاهش می‌داد. نتایج نشان داد مدل پیشنهادی علاوه بر این که قدرت تمایز بالایی نسبت به روش های سنتی دارد می‌تواند برای حل مسایل برنامه ریزی خطی نیز مورد استفاده قرار گیرد. سویشی و گوتو[۲۳] یک مدل تحلیل پوششی داده ها جهت مقایسه ازدحام مطلوب و ازدحام نامطلوب بر روی نیروگاه‌های برق در ایالت متحده ارائه دادند. هدف این مطالعه کاهش آلاینده ها و فراهم نمودن رشد اقتصادی پایدار بود. این مطالعه نشان داد که در تعدادی از نیروگاه ها تراکم مطلوب قابل مشاهده است اما تراکم نامطلوب در اکثر نیروگاه ها اتفاق می‌افتد. لیو و همکاران[۲۴] یک مدل کارایی متقاطع جهت ارزیابی عملکرد نیروگاه های برق در کشور چین ارائه دادند. این مدل مشکل عدم منحصر بفرد بودن وزن های بهینه در ارزیابی کارایی را حل می‌کرد و علاوه بر مقابله با خروجی های نامطلوب واحدها را نیز رتبه بندی می‌نمود. نتایج نشان دادند که اکثر نیروگاه های چین عملکرد خوبی نداشتند. ایزدیخواه و صائن[۲۵] یک مدل دو مرحله ای برای محاسبه کران بالا و پایین کارایی در هر دو مرحله اول و دوم پیشنهاد دادند. این مدل پیشنهادی برای داده های تصادفی نیز تعمیم داده شد. همچنین این مدل قادر بود زنجیره های تامین را بر حسب امتیازات بهره وری و کارایی رتبه بندی نماید. لیو و همکاران[۲۶] یک مدل تحلیل پوششی داده های RAM جهت مقابله با آلاینده های محیط زیست ناشی از نیروگاه ها در کشور چین ارائه دادند. این مدل براساس دورترین هدف که خروجی نامطلوب را برای اندازه گیری محیطی و نزدیکترین هدف را برای کارایی در نظر می گرفت، برنامه ریزی شد. نتایج نشان دادکه نزدیک ترین اهداف، آسانتر قابل

دستیابی هستند و مرتبط ترین راه حل را برای حذف ناکارایی ارائه می دهند. کیو[۲۷] یک مدل تحلیل پوششی داده های شبکه ای ارائه داد که در آن با استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف برای محاسبه خروجی های مطلوب، ورودی های ثابت و خروجی های نامطلوب کاهش می یافت. سویشی و گوتو[۲۸] یک مدل تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی زیست محیطی شرکت های برق در کشور ژاپن ارائه نمودند. رویکرد پیشنهادی بر روی شرکت های برق قبل و بعد از حادثه نیروگاه هسته ای فوکوشیمادایچی اعمال شد. این رویکرد جهت جبران خسارت‌های ناشی از حادثه ارائه شد. ایگوچی و همکاران[۲۹] یک مدل تحلیل پوششی داده های فرامرزی برای بررسی عملکرد ناکارایی تولید برق نیروگاه های حرارتی در کشور چین ارائه دادند. نتایج نشان دادکه به طور متوسط کارایی تولید برق نیروگاه های بزرگ ۱۳ درصد بیشتر از نیروگاه های کوچک است و ناکارایی عملیاتی در شرق و مرکز چین منبع اصلی این ناکارایی هستند. با این وجود در نیروگاه های غرب، علت ناکارایی تفاوت کیفیت ذغال سنگ مصرفی برای تولید برق است. علاوه بر این نتایج نشان داد نوع سوخت در نیروگاه ها مهمترین عامل تعیین کننده قیمت تمام شده در کارایی است و مالکیت کارخانه یا نوع تکنولوژی مورد استفاده تاثیر قابل توجهی در کارایی ندارد. میان دهی و همکاران [۳۰] مدلی جهت محاسبه کارایی شاخص های ورودی و خروجی بر روی مجموعه ای از مناطق پستی در ایران ارئه دادند. این مدل توانایی محاسبه بهترین اندازه مقیاس را داشت. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی ضمن ارزیابی دقیق، کارایی بهترین اندازه مقیاس نیز محاسبه و آن را به عنوان بهترین مرجع واحدهای ناکارا معرفی می کند. کریمی و همکاران[۳۱] یک مدل اصلاح شده راسل برای ارزیابی عملکرد گروه های آموزشی در یک دانشگاه ایران ارائه دادند. این مدل توانایی محاسبه کارایی کلی و کارایی در مراحل شبکه دومرحله ای را داشت. افضلی نژاد[۳۲] یک مدل تحلیل پوششی شعاعی برای ارزیابی کارایی در حضور خروجی های نامطلوب تعمیم داد. روش ارائه شده در این پژوهش، مدل دقیق تری را ارائه می داد و نسبت به روش های موجود، قابلیت اطمینان و قدرت تمایز بیشتری داشت. طالب و همکاران[۳۳] مدلی مبتنی بر متغیرهای کمکی ارائه نمودند. در این مدل با استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف، با خروجی نامطلوب مقابله می شد. مدل اندازه گیری مبتنی بر متغیرهای کمکی با مدل سوپر کارایی مبتنی بر متغیرهای کمکی[۱۷] مقایسه شدند. نتایج نشان داد که معیارهای اسکالر با ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب در ارتباط هستند. چوادهاری و همکاران[۳۴] در این مطالعه از

[۱۹].SE-SBM: Super Efficiency Slack Based Model

تحلیل پوشش داده ها برای ارزیابی عملکرد نیروگاه های سوخت فسیلی بنگلادش استفاده کردند. یو[۳۵] یک مدل تحلیل پوششی داده ها مبتنی بر متغیرهای کمکی را برای ارزیابی کارایی فرودگاه های تایوان ارائه داد. نتایج نشان داد که کارایی فرودگاه ها تضمین کننده کارای در روند خدمات داخلی فرودگاه ها نیست. نویری و همکاران[۳۶] عملکرد واحدها را با خروجی های نامطلوب در دوره های زمانی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان کارایی سراسری و کارایی دوره ای را محاسبه نمودند و تغییرات کارایی در بین دو دوره ی زمانی را نیز مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که اندازه کارایی و تغییرات آنها بین دوره‌های زمانی با وجود خروجی‌های نامطلوب در سیستم چند دوره‌ای، تغییر می کند.بنابراین رویکرد پیشنهادی زمانی که خروجی های نامطلوب وجود دارند، نتایج منطقی و دقیق تری را به دست می دهد. تولاس[۳۷] به ارزیابی عملکرد نیروگاه های سوخت فسیلی در کشور یونان پرداخت. در این تحقیق کارایی نیروگاه های مشغول به کار و نیروگاه های تعطیل مقایسه شدند. نتایج نشان داد که کارایی نیروگاه های مشغول به کار بیشتر از کارایی نیروگاه های تعطیل یا درشرف تعطیلی است. چیلار[۳۸] یک مدل تحلیل پوششی داده ها جهت بررسی عملکرد تجاری صنعت برق در کشور هند ارائه داد. این مدل می توانست کارایی مقیاس و رتبه بندی واحدها را انجام دهد. در این مطالعه به مقایسه DEA-CRS و DEA-VRS پرداخته شد. نتایج نشان دادکه DEA-VRS معیار بهتری برای کارایی است. ماین و راکشیت[۳۹] مدلی ارائه دادند که در آن خروجی های نامطلوب با ورودی ها ترکیب می شدند. در این مدل از فرض دسترسی پذیری ضعیف برای مقابله با خروجی نامطلوب استفاده شد و با استفاده از روش چانه زنی[۱۸] راه حلی ارائه گردید. امیر تیموری و همکاران[۴۰] یک مدل تحلیل پوششی داد ها برای محاسبه کارایی فنی نسبی نیروگاه های ایران ارائه دادند. در این مطالعه کارایی روش پیشنهادی با روش های سنتی تحلیل پوششی داد ها مقایسه شد.در ادامه مدل Boot Strap-DEA دوگانه برای تعیین تاثیر متغیرها برکارایی واحد اعمال شد. نتایج نشان داد که با کاهش هزینه ها (هزینه سوخت و نفت کوره و گازوئیل) و به طور همزمان افزایش سطح گاز طبیعی می توان افزایش قابل توجهی در تولید برق داشت بطوریکه سطح آلاینده ها ثابت بماند. اسفندیاری و ساعتی [۴۱] مدلی با داده های اعداد مختلط بر روی شبکه دو مرحله ای نیرو گاه های برق ایران ارائه نمودند. در این پژوهش مدل پیشنهادی با مدل های سنتی مقایسه شد و نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی کارایی قابل اعتمادتری را نسبت به مدل های سنتی ارائه می دهد. علاوه بر این مقایسه

۲۰. nash bargaining approach

میان تاثیرگذاری کارایی مدیریتی و کارایی مقیاس بر کارایی فنی نشان داد که کارایی مقیاس تاثیر بیشتری را بر کارایی فنی دارد.

مرور پژوهش های پیشین نشان می دهد که به جز مراجع [۸] ،[۹]،[۱۳]،[۱۴]،[۲۰]،[۲۱]،[۲۹]،[۳۴]که در آنها موضوعاتی مانند: کارایی، بهره وری، پایداری و مقابله با آلاینده ها و ... مورد مطالعه قرار گرفته است. تا کنون تحقیقی که تاثیر شاخص های نیروگاه ها مانند: سوخت مصرفی، مصارف داخلی، سرمایه، تولیدات ویژه، هزینه های پرسنلی و درآمد در تولید آلاینده هاو تلفات بررسی کند، انجام نشده است. با توجه به اهمیت کاهش آلاینده هادر محیط زیستو تاثیر آن بر عملکرد و کارایی یک نیروگاه، تحقیق حاضر با دو روش کاهش سطح فعالیت نیروگاه و افزایش هزینه ها و با کمک مدل راسل کارایی نیروگاه ها را محاسبه و مقایسه خواهد شد تا بتوان بهترین روش را برای رسیدن به بیشترین کارایی انتخای نمود.هدف مطالعه حاضر تحلیل کارایی دو روش دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی بر روی مدل راسل و روی داده های تصادفی بر روی ۲۱ نیروگاه برق ایران است. به طور خلاصه نوآوری پژوهش حاضر عبارتند از:

۱- محاسبه کارایی با استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف و مدیریتی روی مدل راسل و با داده های تصادفی با سه سطح اطمینان ۰.۰۱،۰.۰۵و ۰.۱.

۲- مقایسه کارایی حاصل از سه سطح اطمینان ۰.۰۱،۰.۰۵و ۰.۱.

۲- معرفی فرضیات دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی و مدل راسل

دراین قسمت ابتدا به معرفی مدل های کارایی سنجی دو فرض دسترسی پذیری ضعیف و دسترسی پذیری مدیریتی و مدل راسل پرداخته می شود. در ادامه دو فرض مذکور را روی شبکه پیشنهادی اعمال کرده و مدل کارایی سنجی محاسبه خواهد شد.

۲-۱ فرض دسترسی پذیری ضعیف

در تحلیل پوششی داده ها، یکی از روش ها برای مدلسازی خروجی های نا مطلوب، بکاربردن فرض دسترسی پذیری ضعیف است. در این روش با کاهش سطح فعالیت، خروجی مطلوب و نامطلوب کاهش می یابند. کاسمانن در پژوهش خود مدل کامل تری نسبت به روش های پیشین در زمینه دسترسی پذیری ضعیف ارائه داد. تکنولوژی

وی علاوه برخطی بودن، برای هر واحد فاکتور انقباضی مخصوص به آن واحد را در نظر می گیرد. تکنولوژی خطی سازی شده کاسمانن به صورت تکنولوژی (۱) در زیر ارائه شده است[۹]. در این تکنولوژی X بردار M تایی ورودی و Y بردار S تایی خروجی نهایی و Z بردارK تایی خروجی نامطلوب در نظر گرفته شد.

$$\mathrm{T} = \{(X,Y,Z) \mid \sum_{J=1}^{n} X_{ij}(\lambda_j + \mu_J) \le X \qquad i = 1,\dots,M$$

$$\sum_{J=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} \ge Y \qquad r = 1,\dots,S,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Z_{kj} = Z \qquad k = 1,\dots,K$$

$$\sum (\lambda_j + \mu_J) = 1\ , \lambda_j, \mu_J \ge 0\ , j = 1,\dots,n\} \qquad (۱)$$

باتوجه به تکنولوژی (۱) مدل کارایی سنجی که وی ارائه نمود به صورت زیر است.

$min\varphi$

$$s.t \quad \sum_{J=1}^{n} X_{ij}(\lambda_j + \mu_j) \le X_{io} \qquad ,i = 1, \dots, M,$$

$$\sum_{J=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} \ge Y_{ro} \qquad ,r = 1, \dots, S,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Z_{kj} = \varphi\, Z_{ko} \qquad ,k = 1, \dots, K$$

$$\sum(\lambda_j + \mu_J) = 1\ , \lambda_j, \mu_J \ge 0\ , j = 1, \dots, n \qquad (۲)$$

۲-۲ رویکرد دسترسی پذیری مدیریتی

در تحلیل پوششی داده ها، یکی از روش ها برای مواجهه خروجی های نامطلوب، بکاربردن فرض دسترسی پذیری مدیریتی است. در این روش با افزایش مقدار ورودی ها، خروجی های مطلوب افزایش و خروجی های نامطلوب کاهش می یابد. در این مطالعه تکنولوژی دسترسی پذیری مدیریتی سویشی و همکاران به صورت تکنولوژی (۳) ارائه شده است[۲۱].در این تکنولوژی X بردار Mتایی ورودی و Y بردار S تایی خروجی نهایی و Z بردارT تایی خروجی نامطلوب در نظر گرفته شد.

$$T = \{(X, Z, Y)) \mid \ \sum_{J=1}^{n} \lambda_j X_j \ge X\ , \sum_{J=1}^{n} \lambda_j Z_j \le Z,\ \sum_{J=1}^{n} \lambda_j Y_j \ge Y, \sum \lambda_j = 1\ , \lambda_j \ge 0\ , j = 1, \dots, n\} \qquad (۳)$$

و ایشان مدل کارایی سنجی تکنولوژی (۳) را به صورت زیر محاسبه نمودند.

$$\min \theta \qquad (۴)$$

$$s.t \qquad \sum_{J=1}^{n} \lambda_j X_{ij} \ge X_{io}\ ,\ i = 1, \dots, M$$

$$\sum_{J=1}^{n} \lambda_j Z_{tj} \le \theta Z_{to}\ , \quad t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} \ge Y_{ro}\ , \quad r = 1, \dots, S$$

$$\sum \lambda_j = 1\ , \lambda_j \ge 0\ , j = 1, \dots, n, \theta\ Free\}$$

۲-۳ مدل راسل[۱۹]

در محاسبه کارایی با روش تحلیل پوششی داده ها،گاهی کاهش یا افزایش ورودی ها و خروجی ها با نسبتی معین صورت نمی پذیرد. به مدل هایی که امکان تغییرغیرمتناسب را در ورودی ها وخروجی ها فراهم می کنند، مدل های غیرشعاعی گفته می شود. یکی از این مدل های پرکاربرد، مدل راسل است که به انقباض ورودی ها و انبساط خروجی ها توجه دارد. فرض کنید n واحد تصمیم گیرنده با m ورودی وs خروجی وجود دارد به طوری که $\{(X_i, Y_j) = (x_{1j}, \dots, x_{mj}, y_{1j}, \dots, y_{sj}), j = 1, \dots, n\}$. مدل راسل برای ارزیابی یک واحد به صورت مدل (۵) ارائه شده است.

$$Min\ R(X_o, Y_o) = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\theta_i}{\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\varphi_r}$$

$$s.t \qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} \le \theta_i x_{io} \qquad (i = 1, \dots, m) \qquad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} \ge \varphi_r y_{ro} \qquad (r = 1, \dots, s)$$

$$0 \le \theta_i \le 1 \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$\varphi_r \ge 1 \quad (r = 1, \dots, s)$$

$$\lambda_j \ge 0 \ \ (j = 1, \dots, n).$$

با توجه به اینکه در مدل راسل (۵) به ساختارهای داخلی توجهی نشده است، بدین منظوردر ادامه این مدل روی شبکه دو مرحله ای با ورودی ها و خروجی های مطلوب و نامطلوب توسعه داده خواهد شد.

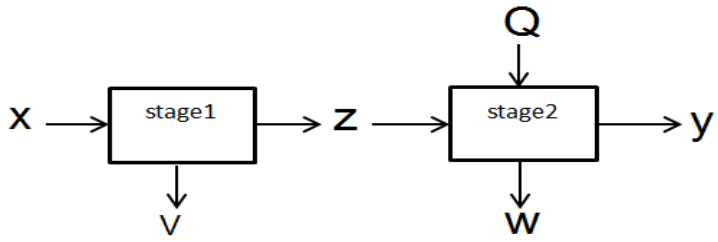
19 . Rasel Measure Model

۳- محاسبه کارایی سنجی مدل راسل روی شبکه دو مرحله ای با حضور خروجی نامطلوب با داده های قطعی و تصادفی

مدل های تحلیل پوششی داده ها را با توجه به نوع داد ها می توان به دو نوع تقسیم بندی کرد. نوع اول تحلیل پوششی داده های قطعی[۲۰] که با داده های قطعی سرو کار دارند و نوع دوم مدل های تحلیل پوششی داده های تصادفی[۲۱] که با فضای عدم قطعیت و داده های تصادفی مواجهه می شوند.

۳-۱ محاسبه مدل کارایی سنجی با داده های قطعی

هدف پژوهش حاضر محاسبه مدل کارایی سنجی داده های قطعی و تصادفی بر روی یک شبکه دو مرحله ای است که خروجی های نامطلوب در مرحله اول توسط فرض دسترسی پذیری ضعیف کاهش می یابند و خروجی های نامطلوب در مرحله دوم با استفاده از فرض دسترسی پذیری مدیریتی کاهش می یابند. در این مطالعه شبکه دو مرحله ای با n واحد تصمیم گیرنده ($DMU_j(j=1,\dots,n)$) در نظرگرفته شد. شکل ۱، طرح نمادین این شبکه دو مرحله ای را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می شود. $X=(X_{1j},\dots,X_{ij})\geq 0$ ورودی مرحله اول، $V=(V_{1j},\dots,V_{kj})\geq 0$ خروجی نامطلوب مرحله اول، $Z=(Z_{1j},\dots,Z_{cj})\geq 0$ عنصرمیانی، $Q=(Q_{1j},\dots,Q_{bj})\geq 0$ ورودی مرحله دوم، $W=(W_{1j},\dots,W_{rj})\geq 0$ خروجی نامطلوب مرحله دوم، $Y=(Y_{1j},\dots,Y_{fj})\geq 0$ خروج نهایی هستند. در این مطالعه مدل مورد استفاده مدل راسل است.



شکل۱. طرح نمادین شبکه دو مرحله ای

2.DDEA: Deterministic DEA

3.SDEA:Stochastic DEA

در مرحله اول با استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف بر روی شبکه دو مرحله ای (شکل ۱)، تکنولوژی (۶) محاسبه شد سپس درمرحله دوم با استفاده از فرض دسترسی پذیری مدیریتی برروی شبکه دو مرحله ای تکنولوژی (۷) ارائه شده است. در مرحله اول با کاهش سطح فعالیت واحد، خروجی نامطلوب کاهش می یابد و در مرحله دوم با افزایش ورودی ها (بهسازی و نوسازی واحد) خروجی نامطلوب کاهش و خروجی های مطلوب افزایش می یابند.

$$T_w^1=\{(X,V,Z),\ X \geq \sum_{j=1}^{n} X_j\ (\lambda_j+\mu_j)\ ,\ V=\sum_{j=1}^{n} V_j\ \lambda_j\ ,\ \sum_{j=1}^{n} Z_j\ \lambda_j \geq \tilde{Z},\ \sum_{j=1}^{n}\ (\lambda_j+\mu_j)=1, \mu_j \geq 0\ , \lambda_j \geq 0\} \qquad (۶)$$

$$T_M^2=\{(Z,Q,W,Y),\ \sum_{j=1}^{n} Q_j\ \beta_j \geq Q\ ,\ W \geq \sum_{j=1}^{n} W_j\ \beta_j\ ,\ \sum_{j=1}^{n} Z_j\ \beta_j \leq \tilde{Z},\ \sum_{j=1}^{n} Y_j\ \beta_j \geq Y\ ,\ \sum_{j=1}^{n}\ \beta_j=1, \beta_j \geq 0\} \qquad (۷)$$

مدل کارایی سنجی تکنولوژی های (۶) و(۷) به صورت زیر محاسبه شد.

$$\min\theta = \frac{1}{\frac{1}{K+F}\left(\sum_{k=1}^{K}\gamma_k + \sum_{f=1}^{F}\varphi_f\right)} = \frac{K+F}{\sum_{k=1}^{K}\gamma_k + \sum_{f=1}^{F}\varphi_f}$$

$$X_{io} \geq \sum_{j=1}^{n}(\lambda_j+\mu_j)X_{ij} \qquad ,i=1,\dots,I$$

$$\tilde{Z}_c \leq \sum_{j=1}^{n}\lambda_j\ Z_{cj} \qquad ,c=1,\dots,C$$

$$\gamma_k V_{ko} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j\ V_{kj} \qquad ,k=1,\dots,K$$

$$Q_{bo} \leq \sum_{j=1}^{n}\beta_j Q_{bj} \qquad ,b=1,\dots,B$$

$$\varphi_f Y_{fo} \leq \sum_{j=1}^{n}\beta_j Y_{fj} \qquad ,f=1,\dots,F$$

$$\tilde{Z}_c \geq \sum_{j=1}^{n}\beta_j Z_{cj} \qquad ,c=1,\dots,C$$

$$W_{ro} \geq \sum_{j=1}^{n}\beta_j\ W_{rj} \qquad ,r=1,\dots,R$$

$$\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j+\mu_j)=1,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\beta_j = 1 \qquad \mu_j \geq 0\ ,\lambda_j \geq 0, \beta_j \geq 0 \qquad (۸)$$

۳-۲ محاسبه مدل کارایی سنجی با داده های تصادفی

با توجه به این که در دنیای واقعی داده ها غیر قطعی هستند. استفاده از برنامه ریزی تصادفی برای ورودی ها و خروجی ها ی غیر قطعی ضروری است. در استفاده از برنامه ریزی تصادفی تابع توزیع احتمال داده ها باید مشخص و قابل اندازه گیری باشد. یکی از مهم ترین روش های حل مسائل برنامه ریزی تصادفی استفاده از روش هامحدودیت های احتمالی است. در استفاده از این مدل بر روی n واحد تصمیم گیرنده $(DMU_j(j=1,\dots,n))$، داده های تصادفی به صورت $\hat{X}=(\widehat{X_{1j}},\dots,\widehat{X_{\imath J}})\geq 0$ ورودی مرحله اول، $\hat{V}=(\hat{V}_{1J},\dots,\hat{V}_{kJ})\geq 0$ خروجی نامطلوب مرحله اول، $\hat{\mathrm{Z}}=(\hat{Z}_{1\mathrm{j}},\dots,\hat{\mathrm{Z}}_{\mathrm{cj}})\geq 0$ عنصرمیانی، $\widehat{\mathrm{Q}}=\left(\hat{Q}_{1j},\dots,\hat{Q}_{bj}\right)\geq 0$ ورودی مرحله دوم، $\widehat{\mathrm{W}}=(\widehat{W}_{1j},\dots,\widehat{W}_{rj})\geq 0$ خروجی نامطلوب مرحله دوم، $\hat{\mathrm{Y}}=(\hat{Y}_{1j},\dots,\hat{Y}_{fj})\geq 0$ خروج نهایی وجود دارند. مدل کارایی سنجی (۸) با داده های تصادفی به صورت مدل (۱۰) در زیر ارائه شد.

$$
\begin{aligned}
&min\theta\\
&\text{s.t } pr\{\textstyle\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j+\mu_j)\hat{X}_{ij}-\hat{X}_{io}\leq 0\ \}\geq 1-\alpha\ , && ,\mathrm{i}=1,\dots,\mathrm{I}\\
&pr\left\{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\lambda_{\mathrm{j}}\,\hat{\mathrm{Z}}_{\mathrm{cj}}-\hat{\tilde{Z}}_c\geq 0\right\}\geq 1-\alpha && ,c=1,\dots,C\\
&pr\left\{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\lambda_{\mathrm{j}}\,\tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{kj}}-\gamma_k\,\tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{ko}}=0\right\}\geq 1-\alpha && ,\mathrm{k}=1,\dots,\mathrm{K}\\
&pr\left\{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\beta_{\mathrm{j}}\tilde{\mathrm{Q}}_{\mathrm{bj}}-\tilde{\mathrm{Q}}_{\mathrm{bo}}\geq 0\right\}\geq 1-\alpha && ,b=1,\dots,B\\
&pr\left\{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\beta_{\mathrm{j}}\tilde{\mathrm{Y}}_{\mathrm{fj}}-\ \varphi_f\tilde{\mathrm{Y}}_{\mathrm{fo}}\geq 0\right\}\geq 1-\alpha && ,f=1,\dots,F\\
&pr\left\{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\beta_{\mathrm{j}}\tilde{\mathrm{Z}}_{\mathrm{cj}}-\tilde{\mathrm{Z}}_{\mathrm{co}}\leq 0\right\}\geq 1-\alpha && ,\mathrm{c}=1,\dots,\mathrm{C}\\
&pr\left\{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\beta_{\mathrm{j}}\,\tilde{\mathrm{W}}_{\mathrm{rj}}-\tilde{\mathrm{W}}_{\mathrm{ro}}\leq 0\right\}\geq 1-\alpha && ,\mathrm{r}=1,\dots,\mathrm{R} \qquad (۹)\\
&\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}(\lambda_{\mathrm{j}}+\mu_{\mathrm{j}})=1,\\
&\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}}\beta_{\mathrm{j}}=1\\
&\mu_{\mathrm{j}}\geq 0\ ,\lambda_{\mathrm{j}}\geq 0,\beta_{\mathrm{j}}\geq 0
\end{aligned}
$$

مقدار α در مدل فوق بین صفر و یک است. مدل فوق را با اضافه کردن متغیرهای خارجی $\varepsilon_i,\varepsilon_c,\varepsilon_k,\varepsilon_b,\varepsilon_f,\varepsilon_r$

می توان به صورت تساوی تبدیل کرد که در مدل(۱۰) ارائه شده است.

$$
\begin{aligned}
&\min\theta \\
&\text{s.t}\quad pr\{\textstyle\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j+\mu_j)\hat{X}_{ij}-\hat{X}_{io}\le 0\ \}=1-\alpha+\varepsilon_i && ,\ \mathrm{i}=1,\dots,\mathrm{I}\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\hat{Z}_{cj}-\hat{\tilde{Z}}_{co}\ge 0\right\}=1-\alpha\ +\varepsilon_c && ,c=1,\dots,C\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\tilde{V}_{kj}-\gamma_k\,\tilde{V}_{ko}=0\ \right\}=1-\alpha\ \ +\varepsilon_k && ,\mathrm{k}=1,\dots,\mathrm{K}\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\tilde{Q}_{bj}-\tilde{Q}_{bo}\ge 0\right\}=1-\alpha\ +\varepsilon_b && ,b=1,\dots,B\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\tilde{Y}_{fj}-\ \varphi_f\tilde{Y}_{fo}\ge 0\right\}=1-\alpha\ \ +\varepsilon_f && ,f=1,\dots,F\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\tilde{Z}_{cj}-\tilde{Z}_{co}\le 0\right\}=1-\alpha\ +\varepsilon_c && ,\mathrm{c}=1,\dots,\mathrm{C}\qquad(۱۰)\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\,\widetilde{W}_{rj}-\widetilde{W}_{ro}\le 0\ \right\}=1-\alpha+\ \ \varepsilon_r && ,\mathrm{r}=1,\dots,\mathrm{R}
\end{aligned}
$$

با توجه به تعریف متغیر کمکی ، با استفاده از متغیر های کمکی $s_k^+, s_i^-, s_r^-, s_c^+, s_c^-, s_b^+, s_f^+$ مدل(۱۰) به صورت مدل(۱۱) بازنویسی شد.

$$
\begin{aligned}
&\min\theta \\
&pr\{\textstyle\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j+\mu_j)\tilde{X}_{ij}\ +s_i^-\le\tilde{X}_{io}\ \}=\ 1-\alpha\ , && \mathrm{i}=1,\dots,\mathrm{I}\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\tilde{Z}_{cj}-s_c^+\ge\tilde{Z}_{co}\right\}=1-\alpha && ,\ c=1,\dots,C\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\tilde{V}_{kj}-\gamma_k\,\tilde{V}_{ko}=0\ \right\}=1-\alpha && ,\quad \mathrm{k}=1,\dots,\mathrm{K}\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\tilde{Q}_{bj}-\tilde{Q}_{bo}\ge s_b^+\right\}=1-\alpha && ,\quad b=1,\dots,B\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\tilde{Y}_{fj}-\ \varphi_f\tilde{Y}_{fo}\ge s_f^+\right\}=1-\alpha && ,\quad f=1,\dots,F\\
&pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\tilde{Z}_{cj}+s_c^-\le\tilde{Z}_{co}\right\}=1-\alpha && ,\ \mathrm{c}=1,\dots,\mathrm{C}
\end{aligned}
$$

(۱۱)

$$pr\left\{\sum_{j=1}^{n}\beta_j\,\widetilde{W}_{rj}+s_r^{+}\le\widetilde{W}_{ro}\right\}=1-\alpha\,,\quad \mathrm{r}=1,\dots,\mathrm{R}$$

برای ارزیابی واحدهای تحت بررسی به کمک مدل(۱۱) نیاز است که این مدل به مدل قطعی تبدیل شود. با توجه به این که تمام متغیرها دارای توزیع نرمال هستند. با بکارگیری توزیع نرمال استاندارد می توان قیود مدل(۱۱) را به مدل (۱۲) قطعی سازی نمود.

$$min\theta$$
$$s.t$$
$$\sum_{j=1}^{n}(\lambda_j+\mu_j)\tilde{X}_{ij}-\theta_i x_{io}+s_i^{-}-\varphi^{-1}(\alpha)\sigma_{\mathrm{i}}(\lambda)=0$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\tilde{Z}_{cj}-s_c^{+}-\tilde{Z}_{co}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma_C(\lambda)=0$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\,\tilde{V}_{kj}-\gamma_k\,\tilde{V}_{ko}=0$$

$$\sum_{j=1}^{n}\tilde{Q}_{bj}-\tilde{Q}_{bo}-s_b^{+}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma_b(\beta)=0$$
$$\sum_{j=1}^{n}\beta_j\,\tilde{Z}_{cj}+s_c^{-}-\tilde{Z}_{co}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma_C(\beta)=0$$

$$\sum_{j=1}^{n}\beta_j\tilde{Y}_{fj}-\varphi_f\tilde{Y}_{fo}-s_f^{+}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma_f(\beta)=0$$
$$\textstyle\sum_{j=1}^{n}\beta_j\,\widetilde{W}_{rj}+s_r^{+}-\widetilde{W}_{ro}-\varphi^{-1}(\alpha)\sigma_\delta(\beta)=0 \qquad (۱۲)$$

در مدل(۱۳) φ تابع نرمال استاندارد است و φ^{-1} معکوس این تابع است. مقادیر $\sigma_f(\beta),\sigma_b(\beta),\sigma_i(\lambda),\sigma_r(\beta),\sigma_C(\beta),\sigma_C(\lambda)$ که در مدل (۱۲) آمده است. به شرح زیربا توجه به ویژگی های توزیع نرمال محاسبه می شود. صورت قطعی این دسته از محدودیت ها به صورت زیر خواهد بود ودر نهایت مدل زیر حاصل می شود.

$$\sigma^{i}{}_{\lambda}=\sum_{j\neq o}\sum_{h\neq o}(\lambda_j+\mu_j).(\lambda_h+\mu_h)\,\mathrm{cov}(x_{ij},x_{ih})+(\lambda_o\text{-}1)^2\mathrm{var}(x_{io})+2(\lambda_o\text{-}1)\sum_{j\neq o}\lambda_j\mathrm{cov}(x_{ij},x_{io})$$

$$\sigma^{c}{}_{\lambda}=\sum_{j\neq o}\sum_{h\neq o}\lambda_j\lambda_h\mathrm{cov}(x_{ij},x_{ih})+(\lambda_o\text{-}1)^2\mathrm{var}(x_{co})+2(\lambda_o\text{-}1)\sum_{j\neq o}\lambda_j\mathrm{cov}(x_{cj},x_{co})$$

$$\sigma^{b}{}_{\beta}=\sum_{j\neq o}\sum_{h\neq o}\beta_j\beta_h\mathrm{cov}(x_{bj},x_{bh})+(\lambda_o\text{-}1)^2\mathrm{var}(x_{bo})+2(\lambda_o\text{-}1)\sum_{j\neq o}\beta_j\mathrm{cov}(x_{bj},x_{bo})$$

$$\sigma^{c}{}_{\beta}=\sum_{j\neq o}\sum_{h\neq o}\beta_j\beta_h\mathrm{cov}(x_{cj},x_{ch})+(\lambda_o\text{-}1)^2\mathrm{var}(x_{co})+2(\lambda_o\text{-}1)\sum_{j\neq o}\beta_j\mathrm{cov}(x_{cj},x_{co})$$

$$\sigma^{f}{}_{\beta}=\sum_{j\neq o}\sum_{h\neq o}\beta_j\beta_h\mathrm{cov}(x_{fj},x_{fh})+(\lambda_o\text{-}\phi_f)^2\mathrm{var}(x_{fo})+2(\lambda_o\text{-}\phi_f)\sum_{j\neq o}\beta_j\mathrm{cov}(x_{fj},x_{fo})$$

$$\sigma^{r}{}_{\beta}=\sum_{j\neq o}\sum_{h\neq o}\beta_j\beta_h\mathrm{cov}(x_{rj},x_{rh})+(\lambda_o\text{-}1)^2\mathrm{var}(x_{ro})+2(\lambda_o\text{-}1)\sum_{j\neq o}\beta_j\mathrm{cov}(x_{rj},x_{ro})$$

$$\sum_j(\lambda_j+\mu_j)x_{ij}\text{-}x_{io}+s_i^{-}\text{-}\varphi^{-1}(\alpha)\sigma^{i}{}_{\lambda}=0$$

$$\sum_j\lambda_j z_{cj}\text{-}s_c^{+}\text{-}z_{co}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma^{c}{}_{\lambda}=0$$

$$\sum_j\lambda_j v_{kj}\text{-}\gamma_k v_{ok}=0$$

$$\sum_j\beta_j q_{bj}\text{-}s_b^{+}\text{-}q_{ob}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma^{b}{}_{\beta}=0$$

$$\sum_j\beta_j z_{cj}+s_c^{-}\text{-}z_{co}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma^{c}{}_{\beta}=0$$

$$\sum_j\beta_j y_{fj}\text{-}s_f^{+}\text{-}\phi_f y_{of}+\varphi^{-1}(\alpha)\sigma^{f}{}_{\beta}=0$$

$$\sum_j\beta_j w_{rj}+s_r^{-}\text{-}w_{or}\text{-}\varphi^{-1}(\alpha)\sigma^{r}{}_{\beta}=0$$

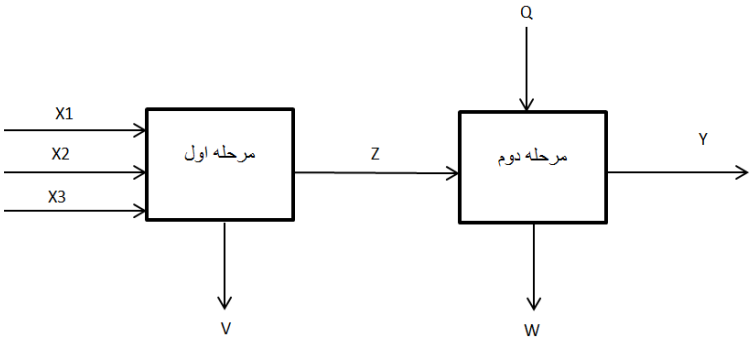
$$\sum_j\lambda_j+\mu_j=1$$

$$\sum_j\beta_j=1$$

$$\theta=(K+F/\sum_k\gamma_k+\sum_f\phi_f)+\sum_b s_b^{+}+\sum_c s_c^{+}+\sum_f s_f^{+}+\sum_r s_r^{-}+\sum_i s_i^{-}+\sum_i s_c^{-}$$

۳-یک مطالعه کاربردی در نیروگاه های برق حرارتی

نیروگاه های حرارتی در توسعه اقتصادی کشور نقش مهمی دارند. نیروگاه ها با تولید انرژی، به رشد صنایع کمک کرده و زیر ساخت های لازم برای توسعه اقتصادی را فراهم می کنند. این موضوع باعث جذب سرمایه گذاری های جدید و افزایش تولید ناخالص داخلی می شود. همچنین با توسعه زیر ساخت های انرژی دسترسی به برق در مناطق مختلف کشور بهبود پیدا می کند. نیروگاه ها تامین کننده اصلی برق پایدار هستند که برای رشد صنایع و کسب و کار ضروری است. با تولید انرژی در داخل کشور، نیاز به واردات انرژی کاهش می یابد که این موضوع به بهبود تعادل تجاری کمک می کند. هدف اصلی تولید برق پایدار کاهش آلاینده ها و انتشار گازهای گلخانه ای است. بنابراین ارزیابی عملکرد و تخمین میزان کارایی نیروگاه ها از این دیدگاه حائز اهمیت است. در این پژوهش، به منظور محاسبه کارایی و کاهش خروجی های نامطلوب نیروگاه برق کشور از روش های دسترسی پذیری ضعیف و مدیریتی بر روی مدل راسل روی داده های تصادفی نیروگاه های کشور استفاده شده است. در این روش هدف کاهش آلاینده ها و تلفات است. نتایج محاسبه کارایی توسط نرم افزار گمز بر روی واحدهای تحت ارزیابی ۲۱ واحد نیروگاه های برق ایران بودند، ۹ واحد کارا سطح با سطح معناداری ۰.۱ و ۰.۰۵، ۷ واحد کارا با سطح معناداری ۰.۰۱، مشاهده شد. در این بخش تحلیل پوششی داده های شبکه ای در نیروگاه های حرارتی توسعه داده می شود. بدین منظور مطابق شکل ۲ برای واحد عملکرد هر نیروگاه و عملیات داخلی آن ساختاری دو مرحله ای در نظر گرفته می شود. در مرحله اول (سوخت مصرفی، مصارف داخلی، سرمایه) با توجه به ورودی ها و در مرحله دوم (تولیدات ویژه و هزینه پرسنلی) را ارائه می دهند.



شکل۲.واحد عملکرد نیروگاه

مطابق شکل ۲، در مرحله اول، سوخت مصرفی(X_1)، مصارف داخلی(X_2)، سرمایه(X_3) ورودی ها هستند، آلاینده ها (V) خروجی نامطلوب هستند، تولید ویژه (Z) که به عنوان محصولات میانی به مرحله دوم می روند. در مرحله دوم، هزینه های پرسنلی(Q) ورودی وتلفات(W) خروجی نامطلوب و درآمد(Y) خروجی نهایی خروجی ها هستند. در این قسمت کارایی شبکه فوق با استفاده از مدل راسل و با به کارگیری دو روش دسترسی پذیری ضعیف و مدیریتی روی داده های تصادفی به منظور محاسبه کارایی ها از داده های آماری نیروگاه ها کشور ایران که در جدول ۱ ، استفاده شده است.

جدول ۱. داده های آماری نیروگاه های برق

		Mean							
		Input 1	Input 2	Input 3	UD Output	Intermediate Measure	Input	UD Output	Output
	استان	سوخت مصرفی	مصارف داخلی	سرمایه	آلاینده	تولید ویژه	هزینه پرسنلی	تلفات	درآمد
1	اصفهان	1075924.889	301373.1111	4453236.648	96956.24	3633049	4420003533	9.5946	36073687.78
2	مرکزی	1939467.444	617293.8889	7654645.612	174675.07	6945930.667	1785951278	5.3193	29621452.22
3	همدان	1176880.222	387192.5556	4201474.239	106042.22	4219625.778	2003999967	8.5176	43716784.44
4	تهران	1139680.889	127255.5556	4353076.007	102694.28	2862119.222	12977511056	17.2614	14925343.33
5	خوزستان	3275529.778	611882.7778	13217655.67	294920.68	11337738.11	5270513889	23.2434	140414954.4
6	سیستان و بلوچستان	1179244	428914.5556	4877786.789	106254.96	3271515.778	3480346200	7.8723	40917667.78
7	کرمانشاه	1069698.222	138675	4333221.665	96395.84	3976822	1718488700	12.5022	43253401.11
8	کرمان	2245191.556	335731.1111	9075631.703	202190.24	9919614.222	3696656321	22.3818	30531420
9	گیلان	528441.4444	184515.6667	2087458.414	47682.73	1602036.778	3439386778	9.7308	59685777.78
10	مازندران	2881464.111	109777.4444	11833314.17	259454.77	11079479.11	4737439056	27.0614	296260498.9
11	آذربایجان شرقی	1166769.222	382523.5556	5151260.909	105132.23	3968728.889	3647797956	6.1833	29174276.67
12	آذربایجان غربی	48856.33333	298601.7778	184711.3159	4520.07	105266.3333	4181475133	8.7942	61543832.22
13	لرستان	40495	1260.777778	170836.1743	3767.55	79523	2522016189	7.2811	67602735.56
14	خراسان جنوبی	870673.7778	839.5555556	3593115.86	78483.64	2653439.667	1242034244	4.8409	14193936.67
15	سمنان	277948.5556	20770	1205584.899	25138.37	866559.1111	959534700	4.6888	11184143.33
16	بوشهر	324876.8889	5538.888889	1291865.185	29361.92	683193.7778	1117951289	11.0635	215686488.9
17	فارس	147115	3713.333333	579079.0389	13363.35	335805.1111	4815141489	6.1155	13955284.44
18	هرمزگان	3778941.111	1514.666667	14764852.34	340227.7	12334494.22	2411787156	9.4229	29989647.78
19	یزد	1056987.778	531098.4444	4253976.566	95251.9	4626978.444	2144948567	4.1962	40354975.56
20	قزوین	2938019.667	83257.33333	11947134.94	264544.77	11437659.56	1381778156	3.3404	23651573.33
21	خراسان شمالی	1010001.778	92941.55556	4039340.239	91023.16	3372642.667	1071570767	7.2763	46433033.33

		Std. Dev.							
		Input 1	Input 2	Input 3	UD Output	Intermediate Measure	Input	UD Output	Output
	استان	سوخت مصرفی	مصارف داخلی	سرمایه	آلاینده	تولید ویژه	هزینه پرسنلی	تلفات	درآمد
1	اصفهان	244568.8825	64425.14446	1442132	22011.2	908795.4	408437504.9	0.9816	4130977
2	مرکزی	110953.1287	76853.57973	1126922	9985.782	522029.1	146517113.4	1.0317	3856003
3	همدان	383448.2298	78996.60637	1104837	34510.34	1395624	202226326.7	0.7900	5634685
4	تهران	123777.6709	14901.35756	662513.5	11139.99	285197.3	1255331489	0.8877	2264113
5	خوزستان	347840.0257	47043.40258	2640688	31305.6	833687.3	621697089.5	1.2137	12474162
6	سیستان وبلوچستان	267826.6114	16397.72154	1537436	24104.4	835090.4	422034172.8	1.1350	5522093
7	کرمانشاه	121071.7738	15479.38071	617548.7	10896.46	454932.2	117831875.9	0.6401	3731590
8	کرمان	176569.8247	25609.57716	1415651	15891.28	611474.9	129381085.3	1.0856	2239816
9	گیلان	50052.89959	8671.81737	435011	4504.761	190864.3	174771255.2	1.0715	6604459
10	مازندران	203806.6212	12794.82023	1941292	18342.6	948500.3	164041296.5	0.7493	41417555
11	آذربایجان شرقی	80453.85497	57973.64461	569161.9	7240.847	322654.5	356443400.6	1.2346	4599791
12	آذربایجان غربی	8832.551714	18674.29474	51662.62	794.9297	16920.53	443449072.7	1.0433	7426699
13	لرستان	18742.24099	161.7434526	96247.53	1686.802	37265.02	246284493.9	0.9483	4032887
14	خراسان جنوبی	82889.82309	313.5558607	643662.2	7460.084	240042.5	169021757.9	1.2137	1393812
15	سمنان	128861.7163	6415.201517	599961.4	11597.55	399182.1	145036237.2	0.8421	1131544
16	بوشهر	36545.57311	1822.488233	306437.4	3289.102	84842.54	139803613.5	0.7826	31310551
17	فارس	39436.37313	1225.751504	170239.4	3549.274	88715.26	294815456.2	0.9633	2649959
18	هرمزگان	434840.8119	387.9890462	3999888	39135.67	1252489	485587512	0.9383	3653746
19	یزد	86022.78905	45198.30996	922060.1	7742.051	412050.5	220235778.4	1.0760	2979238
20	قزوین	109615.0359	9288.850184	1897326	9865.353	144113.6	92686699.43	0.9530	1917196
21	خراسان شمالی	200983.0282	2832.049307	1037204	18088.47	775833.1	37296747.76	0.7565	9563526

جدول ۲. نتایج کارایی با سه سطح معناداری 0.01, 0.1, 0.05

	alpha=0.01	alpha=0.1	alpha=0.05
DMU1	0.711	0.714	0.717
DMU2	0.760	0.749	0.744
DMU3	0.539	0.540	0.503
DMU4	1	1	1
DMU5	0.970	0.517	0.743
DMU6	0.536	0.535	0.537
DMU7	0.376	0.727	0.377
DMU8	0.746	0.559	0.762
DMU9	0.877	0.589	0.737
DMU10	1	1	1
DMU11	0.938	0.816	1
DMU12	1	1	1
DMU13	1	1	1
DMU14	1	1	0.486
DMU15	0.776	1	1
DMU16	0.947	0.947	0.647
DMU17	1	1	1
DMU18	0.601	0.733	0.416
DMU19	0.997	1	1
DMU20	1	1	1
DMU21	0.715	0.826	0.779

با توجه به جدول ۲ با سطح اطمینان $\alpha = 0.01$ ، ۷ واحد کارا(نیرو گاه های تهران، مازندران، اذربایجان غربی، لرستان، خرایان جنوبی، فارس، قزوین) و۱۴ واحد ناکارا مشاهده شد و با سطح اطمینان $\alpha=0.1$ واحدکارا ۹ واحد(نیرو گاه های تهران، مازندران، اذربایجان غربی، لرستان، خرایان جنوبی، فارس، قزوین، یزدو سمنان) و ۱۲ واحد ناکارا مشاهده شدو با سطح اطمینان $\alpha = 0.05$ تعداد واحدهای کارا ۹ واحد(نیرو گاه های نیرو گاه های تهران، مازندران، اذربایجان غربی، اذربایجان شرقی، لرستان، خرایان جنوبی، فارس، قزوین، سمنان و یزد) و۱۲ واحد ناکارا مشاهده شد. همان طور که ملاحظه می شود نیروگاه های تهران، مازندران، اذربابجان غربی و قزوین در سه سطح معناداری کارا است و نیروگاه های همدان و سیستان و بلوچستان کمترین کارایی را دارا است.

٤-جمعبندی و پیشنهادات و مطالعات آینده

تجزیه و تحلیل عملکرد شبکه های دو مرحله ای و همین طور مسایل مربوط به مقابله با خروجی های نامطلوب در دهه ی اخیر یکی از پر طرفدارترین موضوعات مورد بحث در پژوهش ها بوده است. در این پژوهش، به منظور محاسبه کارایی و کاهش خروجی نامطلوب نیروگاه های ایران، از دو رویکرد دسترسی پذیری ضعیف و مدیریتی بر روی مدل راسل استفاده شد. در روش دسترسی پذیری ضعیف سطح فعالیت نیروگاه کاهش می یابد و در روش دسترسی پذیری مدیریتی با افزایش هزینه های بهسازی و نوسازی نیروگاه ها تلاش می شود تا میزان آلاینده ها و تلفات را به حداقل برسد. نتایج محاسبه کارایی توسط نرم افزارگمز با استفاده از فرض دسترسی پذیری ضعیف و مدیریتی روی مدل راسل با داده های تصادفی واحدهای تحت ارزیابی که ۲۱ نیروگاه ایران بودند....

این تحقیق می تواند با استفاده از داده های بیشتر در نیروگاه های ایران و سایر کشورها انجام شود. مقایسه و رتبه بندی کارایی حاصل از این رویکردها مقابله با خروجی نامطلوب و سایر رویکردها می تواند، موضوعات تحقیقات آینده باشد. پیشنهاد می شود این شبکه به حالت داده های فازی تعمیم یابد .

منابع:

[١] A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes, Measuring efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research ,Vol 2: 429- 444; (1978).
[٢] R. D. Banker, A. Charnes, W. W. Cooper, Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science Vol 30: 1078– 1092; (1984).
[٣] M. J. Farrell, The measurement of productive efficiency. Journal of Royal Statistical Society Series (Series A),Vol 120: 253- 290;(1975).
[٤]Färe, R., & Grosskopf, S. (1996). Productivity and intermediate products: A frontier approach. Economics Letters, 50(1), 65–70.
[٥] A. Charnes, W.W. Cooper, B. Golany, R. Halek, G. Klopp, E. Schmitz, Two-phase data envelopment analysis approaches to policy evaluation and management of army recruiting activities: Tradeoffs between joint services and army advertising. Research Report, Center for Cybernetic Studies, University of Texas-Austin, Vol 532;(1986).
[٦] A. Hailu, T.S. Veeman, Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: an application to the canadian pulp and paper industry. American Journal of Agricultural Economics, Vol 83 :610– 616 ;(2001).
[٧]R. Färe, S. Grosskopf, Non-parametric Pro- ductivity Analysis with Undesirable Outputs: Comment. American Journal of Agricultural Economics 85:1070-74(2003).
[٨] R. W. Shephard, Theory of cost and production functions. Princeton University Press,Vol 31: 721-723; (1970).
[٩] T. Kuosmanen, Weak disposability in nonparametric production analysis with undesirable outputs. American Journal of Agricultural Economics, Vol 87:1077– 1082 ;(2005).
[١٠] W.D. Cook , J. Zhu, Within-group common weights in DEA: An analysis of power plant efficiency. European Journal of Operational Research, Vol178: 207-216; (2007).
[١١]H.Yang, M. Pollitt,Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into DEA: The performance of Chinese coal-fired power plants, European Journal of Operational Research. Vol197:1095-1105;(2009).
[١٢]T. Sueyoshi , M.Goto , T. Ueno, Performance analysis of US coal-fired power plants by measuring three DEA efficiencies. Energy Policy,Vol 38:1675-1688; (2010).
[١٣] F. Yang, D. Wu, L. Liang , G .Bi, D. D ,Wu, Supply chain DEA: Production possibility set and performance evaluation model. Annals of Operations Research, Vol 185:195– 211;(2011).
[١٤]C.Curi, S .Gitto, P.Mancuso, New evidence on the efficiency of Italian airports:A bootstrapped DEA analysis. Socio-Economic Planning Sciences, Vol 45: 84-93; (2011).
[١٥] T. Sueyoshi, M. Gato, M. A. Snell, DEA environmental assessment: Measurement of damages to scale with unified efficiency under managerial disposability or environmental efficiency, Applied Mathematical Modelling Vol 37: 7300- 7314;(2012).
[١٦]S. Lozano, E. Gutierrez, P. Moreno, Network DEA approach to airports performance assessment considering undesirable outputs. Applied Mathematical Modeling, Vol 37:1665– 1676;(2013).
[١٧] M. Khodabakhshia, H. Kheirollahi, Performance evaluation of Iran universities with Stochastic Data Envelopment Analysis (SDEA).Int. J. Data Envelopment Analysis,Vol. 1(2013).
[١٨] M. Maghbouli, A. Amirteimoori, S. Kordrostam, Two-stage network structures with undesirable outputs: A DEA based approach. Measurement, Vol 48: 109- 118;(2014).
[١٩] Ch, Kao, Network data envelopment analysis: A review. European Journal of Operational Research, Vol 239: 1– 16; (2014).
[٢٠]V. K.Yadav, N.Kumar, S. Ghosh, K. Singh,Indian thermal power plant challenges and remedies via application of modified data envelopment analysis.International Transactions in Operatinal Research, Vol21: 955-977; (2014).
[٢١]T.Sueyoshi , M.Goto , Environmental assessment on coal-fired power plants in U.S. north-east region by DEA non-radial measurement. Energy Economics,Vol50: 125-139;(2015).

[۲۲]T.Sueyoshi, M.Goto ,Undesirable congestion under natural disposability and desirable congestion under managerial disposability in U.S. electric power industry measured by DEA environmental assessment. Energy Economics,Vol 55: 173-188;(2016).
[۲۳] A. Kalhor, R. K. Matin, performance evaluation of genral network production processes with undesirable outputs: A DEA approach. RAIRO Operations Research, Vol 52: 17- 34 ;(2017).
[۲۴]X. Liu, J. Chu , P. Yin, J. Sun, DEA cross-efficiency evaluation considering undesirable output and ranking priority: a case study of eco-efficiency analysis of coal-fired power plants. Journal of Cleaner Production, Vol 142: 877-885;(2017).
[۲۵] M. Izadikhah , R. F. Saen, Assessing sustainability of supply chains by chance-constrained two-stage DEA model in the presence of undesirable factors. Computers & Operations Research .computers and operations research, Vol 100: 343- 367; (2018).
[۲۶]X. Liu, Q. Zhu, J.Chu, X. Ji , X. Li,Environmental Performance and BenchmarkingInformation for Coal-Fired Power Plants in China: A DEA Approach. Computational Economics, Vol 54:1287–1302;(2019).
[۲۷] Q. cui, Investigating the airlines emission reduction through carbon trading under CNG2020 strategy via a network weak disposability DEA. ENERGY journal, Vol 180: 763- 771; (2019).
[۲۸]T.Sueyoshi,M.Goto, Performance Assessment of Japanese Electric Power Industry: DEA Measurement with Future Impreciseness. Energies, Vol 13;(2020)
[۲۹]Sh.Eguchi , H.Takayabu , Ch.Lin, Sources of inefficient power generation by coal-fired thermal power plants in China: A metafrontier DEA decomposition approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol138;(2021).
[۳۰] Leila Parhizkar,Miyandehi, Alireza Amirteimoori, Sohrab Kordrostami, Mansour Soufi,Average Revenue Efficiency and Optimal Scale Sizes in Stochastic Data Envelopment Analysis: The Case: Post Offices.Journal of Industrial Management StudiesVol. 20: 73-110; (2022).
[۳۱] M.afzalinejad, Evaluating radial efficiency considering environmental factors: A generalization of classical DEA. Measurement, Vol 179 ;(2021).
[۳۲] M.Taleb, R. Khalid, A. Emrouznejad, R. Ramli, Environmental efficiency under weak disposability: an improved super efficiency data envelopment analysis model with application for assessment of port operations considering NetZero. Environment, Development and Sustainability,Vol 25:6657- 6672; (2022).
[۳۳]Sh. A. Chowdhury, Sh.Aziz,b, M.B. Hossanc,Cost Efficiency Evaluation of Thermal Power Plants in Bangladesh Using a Two-Stage DEA Model.Economics of Energy & Environmental Policy, Vol11;(2022).
[۳۴]L,Miyandehi,A.Amirteimoori,S.Kordrostami,M. Soufi, Average Revenue Efficiency and Optimal Scale Sizes in Stochastic Data Envelopment Analysis: The Case: Post Offices,Journal of Industrial Management StudiesVol. 20:73-110; (2022).
[۳۵]Ch. Yu ,Airport Performance - a multifarious review of literature. Journal of the Air Transport Research Society, Vol1:22-39;(2023).
[۳۶] M. J. S. noveiri, S.Kordrostami, A.Amirtemoori, Detecting the multi-period performance and efficiency changes of systems with undesirable out puts. Discrete Mathematics Algorithms and Applications. Vol 3:627- 645; (2023).
[۳۷]E. Tsolas ,Efficiency Measurement of Lignite-Fired Power Plants in Greece Using a DEA-Bootstrap Approach. Sustainability VOL15 (2023).
[۳۸]Ishika Chhillar1DEA and Financial Ratio Analysis: Efficiency of Power Plants in India – Shareholder’s ViewInternational Journal of Finance, Insurance and Risk Management Vol8:177-190;(2023).

[۳۹] M.Min, I.rakshit, Target setting for airlines incorporating CO_2 emissions: The DEA bargaining approach. Journal of Air Transport Managment , Vol 108: 102376; (2023)
[۴۰]A. Amirteimoori, T. Allahviranloo ,A. Cezar ,A bootstrap data envelopment analysis model with stochastic reducible outputs and expandable inputs: an application to power plants. RAIRO-Oper. Res, Vol 58:3189-3202;(2024).
[۴۱]M.Esfandiari, S.Saati, Two-stage DEA model with complex numbers: a case study of power plants in Iran. OPSEARCH, (2024).