



## ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین با روش های BSC-FDEA و BSC-RDEA (مطالعه موردی: پنج شرکت تولید موتورهای دیزلی در صنایع خودروسازی تبریز)

### سینا چرتاب جباری

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

کمال الدین رحمانی یوشانلوئی (نویسنده مسؤول)

استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
E-mail: kr13452000@yahoo.com

### محمد پاسبان

استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

### یعقوب علوی متین

استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

### مجتبی رمضانی

استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، اقتصاد و حسابداری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰ \* تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۱/۰۳

### چکیده

با توجه به اهمیت موضوع کارایی در پیشبرد جوامع و جایگاهی که در سازمان های امروزی به خود اختصاص داده است، استفاده از ارزیابی عملکرد به ضرورتی گریز ناپذیری تبدیل شده است. در پژوهش حاضر ارزیابی عملکرد پنج زنجیره تأمین فعال با ساختار یکسان با هدف مقایسه نتایج مدل های ترکیبی RDEA-BSC و FDEA-BSC در صنایع خودروسازی تبریز اجرا و داده های ورودی و خروجی به صورت اعداد فازی مثلثی متقارن و مجموعه اعداد ناهموار به مدل وارد شده و خروجی مدل ها نشان دهنده کارایی شرکت های خودروسازی سیبا موتور، آذھاتیکس، رخس خودرو دیزل، آمیکو و خودرو دیزل آذربایجان می باشد. از روش کارت امتیازی متوازن (BSC) به عنوان ابزاری برای طراحی شاخص های ارزیابی عملکرد استفاده شده است و همچنین نوع تحقیق کاربردی-توصیفی بوده و جامعه آماری تحقیق مدیران و کارشناسان ارشد شرکت ها می باشد و نمونه آماری تحقیق با استفاده از جدول کربسی و مورگان ۹۲ نفر برآورد شده است و ابزار اندازه گیری پرسشنامه، اسناد مالی و روش تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز، مدل ریاضی RDEA، FDEA، BSC و تحلیل حساسیت می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد که میزان کارایی شرکت آمیکو در هر مدل از سایر شرکت ها بیشتر می باشد.

**کلمات کلیدی:** خودروسازی، کارایی زنجیره تامین، تحلیل پوششی داده ها، مجموعه اعداد راف، مجموعه اعداد فازی.

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر، مدیریت زنجیره تأمین<sup>۱</sup> به دلیل افزایش روزافزون رقابت در بازارهای جهانی به یکی از مهم ترین زمینه ها در شاخه ی مدیریت تولید تبدیل شده است. مدیریت زنجیره تأمین، به عنوان ابزاری که در اوایل دهه ۱۹۹۰ بوجود آمده و شامل برنامه ریزی و مدیریت عملیات و تولید، انتقال و توزیع کالا تا رسیدن به مشتری است، راهی را برای بهبود محیط تولید و رقابتی کردن آن پیشنهاد می دهد. مدیریت زنجیره تأمین مجموعه ای از رویکردهایی است که سعی می کند تأمین کنندگان، تولید کنندگان، انبارها و مصرف کنندگان را به طور مؤثری در هم ادغام کند تا کالاها در مقدار درست، در مکان درست و در زمان درست تولید و توزیع شوند. این رویکردها درصد حداقل کردن هزینه های سیستم هستند درحالی که سطح خاصی از سرویس را ارضاء می کنند (Beamon, 1999). ارزیابی عملکرد در بعد استفاده از منابع و امکانات در قالب شاخص های کارایی بیان می شود. اگر در ساده ترین تعریف، نسبت داده به ستاده را کارایی بدانیم، نظام ارزیابی عملکرد در واقع میزان کارایی تصمیمات مدیریت در خصوص استفاده بهینه از منابع و امکانات می باشد (Taheri, 2020). ارزیابی زنجیره تأمین با استفاده از روش های مختلفی انجام می شود. تحلیل پوششی داده ها به عنوان یک روش ناپارامتریک بر پایه تکنیک برنامه ریزی خطی بنا شده است و عملکرد واحدهای مختلف را به نسبت هم می سنجد. با دادن شواهد و دلایلی مناسب، تحلیل پوششی داده ها روش مناسبی برای مدیریت زنجیره تأمین است. تحلیل پوششی داده ها می تواند ورودی ها و خروجی های چندگانه داشته باشد و شاخص های کمی و کیفی را به کار گیرد.

تحلیل پوششی داده ها مفهومی از محاسبه ارزیابی سطوح کارایی در داخل یک گروه از سازمان را نشان می دهد. کارایی هر واحد در مقایسه با تعدادی از واحدها که دارای بیشترین عملکرد هستند، محاسبه می شود. این تکنیک مبتنی بر رویکرد برنامه ریزی خطی است که هدف اصلی آن، مقایسه و سنجش کارایی تعدادی از واحدهای تصمیم گیرنده مشابه است که تعداد ورودی-های مصرفی و خروجی های تولیدی متفاوتی دارند. این واحدها می توانند شعب یک بانک، مدارس، بیمارستان و ... باشند. منظور از مقایسه و سنجش کارایی این است که واحد تصمیم گیرنده در مقایسه با سایر واحدهای تصمیم گیرنده، چقدر خوب از منابع خود در راستای تولید استفاده کرده است (Jahanshahloo et al., 2010). در پژوهش وانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۷) شاخص هایی مانند هزینه، تحویل به موقع و زمان تدارک برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین در نظر گرفته شده و ارزیابی عملکرد در سطح تولیدکننده (خودروسازان) انجام می شود در حالی که معمولاً به زنجیره تأمین به صورت یک سیستم و کل نگرانه نگاه شود. این موضوع بدان معناست که شاخص های ارزیابی عملکرد برای واحد تولیدکننده (سطح دوم زنجیره) و در ارتباط آن با تأمین کننده و مشتری اندازه گیری می شوند و کلیت زنجیره تأمین حفظ می شود (Wong et al., 2007). ثابت شده است که مدیریت مؤثر یک زنجیره تأمین، مکانیزم بسیار مؤثری برای تحویل سریع و مطمئن کالا و خدمات با کیفیت بالا و با هزینه حداقلی میباشد (Guneskaran et al., 2004). ارزیابی عملکرد فروش (Easton et al., 2002)، ارزیابی عملکرد تأمین کننده (Tullari et al., 2016) و غیره. به هر حال این واحدهای مستقل در زنجیره تأمین دارای اهداف خاص خودشان هستند و این اهداف اغلب با هم در تضاد هستند. بنابراین نیاز به یک چارچوب ارزیابی عملکرد که در آن عملکرد این واحدهای مستقل با هم ادغام شده و به صورت هم زمان ارزیابی شوند، احساس می شود. برای به دست آوردن یک زنجیره تأمین کارا، ارزیابی عملکرد کل زنجیره تأمین بسیار مهم است.

در این پژوهش زنجیره تأمین به صورت یک کل و یک سیستم در نظر گرفته می شود که ورودی ها و خروجی های مدل تحلیل پوششی داده های فازی، همان ورودی ها و خروجی های سیستم زنجیره تأمین هستند. شاخص های ارزیابی در سطح تولیدکننده اندازه گیری می شود و برای حفظ یکپارچگی زنجیره تأمین اندازه گیری شاخص ها برای تولیدکننده و با حفظ ارتباطش با تأمین کنندگان و مشتریان انجام می شود. در این تحقیق مقایسه تحلیل پوششی، با داده های فازی و داده های ناهموار جهت ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین شرکتها استفاده شده که در تحقیقات پیشین تاکنون مجموعه داده های ناهموار جهت ارزیابی

<sup>1</sup> Supply Chain Management

<sup>2</sup> Wong et al

عملکرد مورد استفاده قرار نگرفته است و همین طور در استفاده هم زمان از دو روش جهت محاسبه کارایی و مقایسه روش ها و نتایج به دست آمده، این تحقیق را در رسته تحقیقات مقایسه ای قرار می دهد. به دلیل عدم وجود یک تحقیق جامع و کاربردی و ضرورت شناخت و ارزیابی شرکت های فعال در حوزه تولید موتورهای دیزلی، برای نخستین بار در استان آذربایجان شرقی ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پنج شرکت بزرگ انجام شده است. بنابراین وجه تمایز بین تحقیق حاضر و تحقیقات مشابه در این است که در این تحقیق هم از بعد جامعه آماری و هم از بعد روش حل تحقیق، نوآوری و ابتکار وجود دارد.

شفیعی و همکاران (۲۰۲۱) تحقیقی تحت عنوان «الگویابی در زنجیره تأمین با استفاده از تحلیل پوششی داده ها و شبیه سازی پویایی های سیستم» به مرحله اجرا درآورده اند در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی پویایی های سیستم، داده های واحدهای تحت ارزیابی را پیشبینی کرده و سپس با استفاده از مدل پیشنهادی تحلیل پوششی داده ها، به ارائه الگوی مناسب برای تدوین استراتژی های بهبود عملکرد پرداخته اند در انتها مدل طراحی شده را در صنایع شیر استان فارس پیاده سازی نموده و استراتژی های مناسب برای ارتقای کارایی این صنعت را تدوین کرده اند.

افتخاری و همکاران (۲۰۲۱) در این مطالعه ای به منظور محاسبه ی اوزان مشترک مدلی خطی و تک مرحله یی که ایراد تفاوت اوزان را رفع می کند و همچنین در راستای اعتبارسنجی مدل، به مقایسه ی ضرایب همبستگی نتایج مدل با سایر مدل های مشابه پرداخته و سپس شرکت های دارویی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران بر مبنای کارایی نسبی به دست آمده از مدل ارزیابی کرده اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد در میان ۲۹ واحد مورد ارزیابی، ۳ واحد کارا هستند. در انتها تحلیل حساسیت بر روی مقادیر خروجی انجام داده اند. نهبندی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل تحلیل پوششی داده های فازی جدید را برای ارزیابی مدیریت زنجیره تامین سبز در حضور فاکتورهای دوگانه، خروجی های نامطلوب و اطلاعات فازی معرفی کردند. آنها یک زنجیره-تأمین متشکل از چهار بخش تامین کننده، تولیدکننده، توزیع کننده و مشتری را در نظر گرفتند و از مدل پیشنهادی برای ارزیابی ۲۲ شرکت تولیدکننده نوشیدنی بدون الکل ایرانی استفاده کردند.

ابراهیم نژاد و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل تحلیل پوششی داده های شبکه ای جدید بر اساس اسپیلون را برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین ارائه دادند. این مدل، اقدامات شعاعی و غیرشعاعی کارایی را به یک چهارچوب یکپارچه برای حل مسایل تحلیل پوششی داده های شبکه ای ترکیب می کند. آنها این مدل را در یک صنعت نیمه رسانا پیاده سازی کردند. این صنعت از ۲۲ زنجیره تامین تشکیل شده بود.

میرهدایتیان و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل تحلیل پوششی داده های سه مرحله ای پیشنهاد دادند که در آن دو مرحله موازی مستقل با یک مرحله پایانی سوم مرتبط می باشند پژوهشگران کارایی این مدل را با در نظر گرفتن یکسری محدودیت ها و اقدامات میانی محاسبه کردند و سپس مدل پیشنهادی را در یک صنعت بانکداری پیاده سازی کردند.

چن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) بر اساس تعاریف ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین و نظریه بازی ها یک بازی عملکرد را بین دو عضو زنجیره تأمین مشاهده کردند. آنها نشان داده اند که نقاط تعادل نش<sup>۴</sup> زیادی برای عملکرد یک مجموعه از تأمین کننده و تولیدکننده با توجه به تابع عملکرد آنها وجود دارد. آنها یک مدل داد و ستد را برای تحلیل فرآیند تصمیم گیری تولیدکننده و تأمین کننده ارائه کرده و بهترین استراتژی طرح عملکرد را شناسایی کردند.

استمپ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) با ارائه چارچوبی تلاش کردند مدل های ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین را تحلیل کنند. این تحلیل با مشخص کردن ویژگی های خاص و قابلیت های هر مدل در زمینه های مختلف صورت گرفته است. آنها همچنین تلاش کرده اند مدل ها را به صورت تحلیلی به هفت لایه کوچکتر تقسیم کنند تا به مدیران کمک کند که مدل مناسب برای احتیاجات خود را به درستی انتخاب کنند.

## ۲- روش شناسی پژوهش

<sup>3</sup> Chen et al

<sup>4</sup> Nash equilibrium

<sup>5</sup> Estampe et al

ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین با روش های BSC-FDEA و BSC-RDEA (مطالعه: پنج شرکت تولید موتورهای دیزل در صنایع خودروسازی تبریز) ۸۷

این تحقیق به لحاظ سطح تحلیل و روش از نوع توصیفی تحلیلی محسوب می شود و بر مبنای هدف، از نوع کاربردی می باشد. در این پژوهش از مدل های FDEA, RDEA ارائه شده برای ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین استفاده شده است. در این ارزیابی شاخص هزینه ابتدا به صورت فازی و در گام بعدی به صورت اعداد راف در نظر گرفته می شود و سایر شاخص ها قطعی هستند. از آنجایی که موضوع شاخص های زنجیره تأمین یک موضوع تخصصی می باشد لذا نیاز به تحصیلات و تجربه بالای مدیران است به این دلیل اولاً در تحقیق حاضر به منظور نمونه گیری از جامعه آماری از روش نمونه گیری غیر تصادفی (انتخابی) و دوماً از افرادی استفاده شده است که حداقل تحصیلات لیسانس و میزان تجربه کاری پنج سال به بالا و سوماً جز مدیران و کارشناسان رده بالای شرکت ها باشند، استفاده شده است. جامعه آماری تحقیق ۳۰۰ نفر از مدیران و کارشناسان ارشد شرکت ها می باشد و تعداد نمونه آماری این تحقیق با در نظر گرفتن با استفاده از جدول مورگان ۹۲ نفر بر آورد شده است.

الف) تحلیل پوششی داده های فازی بر پایه ی مدل چارنز، کوپر و رودز:

بنا بر تعاریف مدل DEA، هر زنجیره تأمین به عنوان یک DMU یا واحد تصمیم گیری در نظر گرفته می شود. فرض کنید  $n$  واحد تصمیم گیری وجود دارد و هر واحد تصمیم گیری  $s$  ورودی و  $m$  خروجی داشته باشد. شکل (۱).



شکل شماره (۱): واحد تصمیم گیری با  $s$  ورودی و  $m$  خروجی

مدل CCR یک مدل بر پایه برنامه ریزی خطی است که توسط چارنز و همکاران (۱۹۷۸) ارائه شده است. در مدل CCR عملکرد یک واحد ارزیابی شده به صورت نسبت خروجی وزن دار به ورودی وزن دار محاسبه می شود به این شرط که این نسبت برای همه ی واحدها بیشتر از یک نباشد. این موضوع به صورت ریاضی در روابط زیر نشان داده می شود:

رابطه شماره (۱)

$$\begin{aligned} \max_{\rho, \theta} \quad & \frac{\sum_{r=1}^m \rho_r y_{rj_0}}{\sum_{s=1}^s \theta_s x_{s0}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{y_{rj}}{x_{sj}} \leq \theta \quad (j = 1, \dots, n), \\ & \mu \geq 0, \\ & \theta \geq 0. \end{aligned}$$

در اینجا  $DMU_0$  واحد تحت ارزیابی است و  $n$  تعداد واحدهای تصمیم گیری است.  $y_j = [y_{j1}, \dots, y_{jm}]^t$  و

$x_j = [x_{j1}, \dots, x_{js}]^t$  نشان دهنده خروجی ها و ورودی های مثبت واحد تصمیم گیری  $j$  ام هستند و  $m$  و  $s$  تعداد خروجی ها و

ورودی های هر واحد تصمیم گیری است. و در رابطه نشان دهنده بردار ضرایب  $y_j$  و  $x_j$  هستند و اندیس ۰ مشخص

کننده واحد تصمیم گیری مورد ارزیابی است. مدل (۲) معادل مساله برنامه ریزی خطی زیر است:

رابطه شماره (۲):

$$\begin{aligned} \max \quad & 'y_0 \\ \text{s.t.} \quad & 'x_0 = 1, \\ & 'y_j - 'x_j \quad (j = 1, \dots, n), \\ & 0, \\ & 0. \end{aligned}$$

با در نظر گرفتن داده های ورودی و خروجی فازی، مدل CCR رابطه (۲) می تواند به مدل DEA فازی زیر توسعه یابد (Gue & Tanaka, 2001).

رابطه شماره (۳):

$$\begin{aligned} \max \quad & 'Y_0 \\ \text{s.t.} \quad & 'X_0 = \tilde{1}, \\ & 'Y_j - 'X_j \quad (j = 1, \dots, n), \\ & 0, \\ & 0. \end{aligned}$$

تفاوت های موجود میان DEA سنتی و DEA فازی که در آن  $X_j = (x_j, c_j)$  و  $Y_j = (y_j, d_j)$  بردار S بعدی ورودی فازی و بردار m بعدی خروجی فازی واحد تصمیم گیری زام هستند که جایگزین مقادیر قطعی بردارهای ورودی و خروجی در رابطه (۲) شده اند. به علاوه، عبارت های "تقریباً مساوی"، "تقریباً بزرگتر از" و "بیشینه سازی یک عدد فازی" در رابطه (۳) معرفی شده اند که جایگزین عبارت های "مساوی"، "بزرگتر از" و "بیشینه سازی یک خروجی قطعی" در رابطه (۲) شده اند. به علاوه، عدد یک در معادله (۲) به صورت عدد فازی  $\tilde{1} = (1, e)$  نمایش داده می شود که در آن  $e$  گسترش از طرفین  $\tilde{1}$  است. در اینجا  $x_j > c_j > 0$  و  $y_j < d_j < 0$  فرض می شوند زیرا ما فقط ورودی ها و خروجی های مثبت را در نظر می گیریم. در ادامه چگونگی در نظر گرفتن نامساوی فازی  $\tau 'Y_j \sim \tau 'X_j$ ، بیشینه سازی عدد فازی  $'Y_0$  و مساوی فازی  $'X_0 = \tilde{1}$  را توضیح می دهیم.

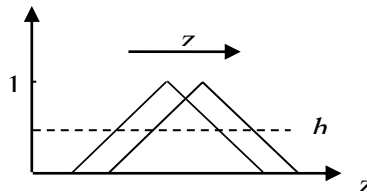
تعریف ۱. دو متغیر فازی مثلثی متقارن  $Z_1 = (z_1, w_1)$  و  $Z_2 = (z_2, w_2)$  را در نظر می گیریم، رابطه  $Z_1 \sim Z_2$  به صورت نامساوی های زیر تعریف می شود:

رابطه شماره (۴):

$$\begin{aligned} z_1 &= (1-h)w_1 & z_2 &= (1-h)w_2 \\ z_1 &= (1-h)w_1 & z_2 &= (1-h)w_2 \end{aligned}$$

شکل شماره (۲): تعریف نامساوی فازی

که در آن  $0 \leq h \leq 1$  یک سطح احتمالی از قبل تعریف شده توسط تصمیم گیرنده است. یک نمایش گرافیکی از این موضوع در شکل (۲) نشان داده شده است. از شکل (۲) مشخص است که نامساوی فازی " $\sim$ " به صورت مقایسه نقاط پایانی مجموعه های سطح h متغیرهای فازی  $Z_1$  و  $Z_2$  تعریف می شود. واضح است.



شکل شماره (۳): نمایش بیشینه‌سازی یک عدد فازی

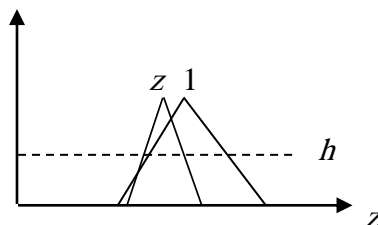
که اگر رابطه (۴) در سطح احتمالی  $h$  برقرار باشد، در هر سطح احتمالی  $k$  به صورت  $1 - k$  هم برقرار خواهد بود. حال بیشینه‌سازی یک متغیر فازی را در نظر می‌گیریم. با توجه به تعریف ۱، "بیشینه‌سازی یک متغیر فازی مثلی متقارن  $(z, w)$ " می‌تواند به صورت بیشینه‌سازی هم‌زمان  $z - (1 - h)w$  و  $(1 - h)w - z$  تعریف شود. این موضوع در شکل (۳) نشان داده شده است.

در اینجا یک تابع وزن دار به صورت  $f_1(z - (1 - h)w)$  و  $f_2((1 - h)w - z)$  برای بدست آوردن یک جواب مناسب تعریف می‌شود که در آن  $f_1 \cdot 0$  و  $f_2 \cdot 0$  مقادیر وزن‌های نقاط پایانی سمت چپ و راست مجموعه سطح  $h$  عدد  $Z$  هستند و داریم  $f_1 \cdot 1$  و  $f_2 \cdot 1$ . با در نظر گرفتن  $f_1$  حالت بدینانه بیشینه‌سازی  $Z$  فرض می‌شود زیرا بدترین وضعیت در نظر گرفته شده است، در مقابل با فرض  $f_2 \cdot 1$  حالت خوش‌بینانه در نظر گرفته می‌شود زیرا بهترین جواب در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق  $f_1$  برابر با یک فرض می‌شود، بنابراین داریم:

$$\max z - (1 - h)w$$

رابطه شماره (۵):

در ادامه رابطه  $f_1 \cdot 1$  را که نقش مشابه رابطه  $f_1 \cdot 1$  را بازی می‌کند در نظر می‌گیریم. بردار ورودی قطعی  $X^0$  در مدل CCR به بردار فازی  $X^0$  تبدیل شده است بنابراین رابطه  $f_1 \cdot 1$  به رابطه  $f_1 \cdot 1$  توسعه پیدا می‌کند که در آن  $(1, e)$  یک واحد فازی است که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. برخلاف موارد قطعی که در آن  $f_1 \cdot 1$  و بردار  $V$  می‌تواند برای ارضای تساوی بدست آید، بردار  $V$  را نمی‌توان همیشه برای برقراری تساوی  $f_1 \cdot 1$  بدست آورد. در نتیجه، یافتن  $V$  به نحوی که تساوی  $f_1 \cdot 1$  برقرار باشد به صورت یافتن  $V$  به نحوی که  $f_1 \cdot 1$  تا حد ممکن به  $f_1 \cdot 1$  نزدیک شود تقریب زده می‌شود، این موضوع به سادگی به صورت  $f_1 \cdot 1$  نشان داده می‌شود. با در نظر گرفتن تعریف ۱، مقداری از  $X^0$  که رابطه  $f_1 \cdot 1$  را ارضا می‌کند می‌تواند به عنوان یک حد بالا برای رابطه  $f_1 \cdot 1$  در نظر گرفته شود. این موضوع به این معنی است که نقطه پایانی سمت چپ مجموعه سطح  $h$  دو عدد  $X^0$  و  $f_1 \cdot 1$  روی هم قرار می‌گیرند در حالی که نقطه پایانی سمت راست  $X^0$  از سمت راست تا جایی که امکان دارد گسترش می‌یابد اما از مجموعه سطح  $h$  عدد  $f_1 \cdot 1$  بیشتر نمی‌شود. این موضوع در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل شماره (۴): نمایش  $f_1 \cdot 1$

بنابراین، مساله یافتن به نحوی که  $f_1 \cdot 1$  ، می‌تواند با در نظر گرفتن روابط قبلی به مساله بهینه‌سازی زیر تبدیل شود:  
رابطه شماره (۶):

$$\begin{aligned} \max \quad & v'c_0 \\ \text{s.t.} \quad & 'x_0 (1-h)'c_0 - 1(1-h)e, \\ & 'x_0 (1-h)'c_0 - 1(1-h)e, \\ & 0 \end{aligned}$$

مشاهده می شود که رابطه (۶) برای یافتن  $'x_0$  با  $z$  در نظر گرفتن  $\bar{1}$  با بزرگترین گسترش  $'c_0$  و نقطه چپ پایانی مشابه با عدد فازی  $\bar{1}$  در سطح  $h$  استفاده می شود. با استفاده از معادلات (۴)، (۵) و (۶) مساله بهینه سازی فازی معادله (۷) می تواند به مساله برنامه ریزی خطی زیر با یک تابع هدف اولیه و یک تابع هدف ثانویه تبدیل شود:   
 رابطه شماره (۷):

$$\begin{aligned} \max \quad & \mu'y_0 - (1-h)\mu'd_0 \\ \text{s.t.} \quad & \max_v v'c_0 \\ \text{s.t.} \quad & v'x_0 - (1-h)v'c_0 - 1(1-h)e, \\ & v'x_0 - (1-h)v'c_0 - 1(1-h)e, \\ & v \geq 0, \\ & 'y_j - (1-h)'d_j - 'x_j - (1-h)'c_j, \\ & 'y_j - (1-h)'d_j \leq 'x_j - (1-h)'c_j \quad (j=1, \dots, n), \\ & 0 \leq 0 \end{aligned}$$

باید توجه داشت که مساله بهینه سازی (رابطه ۶) برای بدست آوردن  $v$  به نحوی که  $'x_0 - \bar{1}$  در رابطه (۷) ادغام شده است. مشاهده می شود که وقتی  $'c_i = 0$ ،  $d_i \geq 0$  و  $e = 0$ ، مساله DEA فازی (۷) به مدل CCR تبدیل می شود. این موضوع به این معنی است که مدل (رابطه ۷) می تواند عملکرد واحدهای تصمیم گیری را به صورت کلی تری ارزیابی کند. این مدل قادر است ورودی ها و خروجی های قطعی، فازی و یا ترکیبی را به صورت هم زمان استفاده کند.

با در نظر گرفتن  $n$  واحد تصمیم گیری و  $e = \max_{j=1, \dots, n} (\max_{k=1, \dots, s} c_{jk} / x_{jk})$  در رابطه (۷) و با فرض این که تابع هدف رابطه (۶) برابر با  $g_0$  است مساله بهینه سازی (رابطه ۶) به صورت مساله برنامه ریزی خطی زیر نوشته می شود:   
 رابطه شماره (۸):

$$\begin{aligned} \max \quad & 'y_0 - (1-h)'d_0 \\ \text{s.t.} \quad & 'c_0 - g_0 \\ & 'x_0 - (1-h)'c_0 - 1(1-h)e, \\ & 'x_0 - (1-h)'c_0 - 1(1-h)e, \\ & 'y_j - (1-h)'d_j - 'x_j - (1-h)'c_j, \\ & 'y_j - (1-h)'d_j - 'x_j - (1-h)'c_j \quad (j=1, \dots, n), \\ & 0, \\ & 0. \end{aligned}$$

در این تحقیق از مدل FDEA ارائه شده توسط معادله (۸) برای ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین استفاده می شود.   
 (ب) حل مدل تحلیل پوششی داده های راف :

واضح است متغیرهای راف در مدل RDEA می تواند به یک مدل برنامه ریزی بازه ای نسبت به سطح درستی  $a$  تبدیل شود. متغیرهای راف  $\hat{X}_j = (\hat{X}_{1j}, \dots, \hat{X}_{mj})^T > 0$  می تواند به بازه ی  $[X_j^{\sup(a)}, X_j^{\inf(a)}]$  و متغیرهای راف  $\hat{Y}_j = (\hat{Y}_{1j}, \dots, \hat{Y}_{sj})^T > 0$  به بازه ی  $[Y_j^{\sup(a)}, Y_j^{\inf(a)}]$  نسبت به  $\xi_{\sup(a)} \geq \xi_{\inf(a)}$  و

$0/5 < a \leq 1$  منتقل شود. به منظور سروکار داشتن با متغیرهای راف نادقیق، مدل RDEA به مدل برنامه ریزی زیر تبدیل می شود (Jiuping Xu et al., 2009) رابطه شماره (۹):

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta \\ & \text{st. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j [X_j^{\text{sup}(a)} \cdot X_j^{\text{inf}(a)}] \leq \theta [X_o^{\text{sup}(a)} \cdot X_o^{\text{inf}(a)}] \\ \sum_{j=1}^n \lambda_{rj} [Y_j^{\text{sup}(a)} \cdot Y_j^{\text{inf}(a)}] \leq \theta [Y_o^{\text{sup}(a)} \cdot Y_o^{\text{inf}(a)}] \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

به طوری  $[X_j^{\text{sup}(a)} \cdot X_j^{\text{inf}(a)}]$  و  $[Y_j^{\text{sup}(a)} \cdot Y_j^{\text{inf}(a)}]$  بازه انتقال یافته از متغیرهای راف  $\hat{X}_j = (\hat{X}_{1j}, \dots, \hat{X}_{mj})^T > 0$  و  $\hat{Y}_j = (\hat{Y}_{1j}, \dots, \hat{Y}_{sj})^T > 0$  به ترتیب تحت سطح درستی  $0/5 < a \leq 1$  است. واضح است که تحت سطح درستی  $a$  اگر ورودیهای DMU مینیمم و خروجی های DMU ماکزیمم مقدار هستند، درحالی که ورودی های بقیه ی  $n-1$  تا DMU ماکزیمم مقدار هستند و خروجیهای بقیه ی  $n-1$  تا DMU مینیمم مقدار هستند، آنگاه ماکزیمم مقدار کارایی برای DMU به دست آمده است؛ بنابراین مدل بازه برنامه ریزی (۱۰) به صورت زیر قابل تبدیل است:

رابطه شماره (۱۰):

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta \\ & \text{st. } \begin{cases} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq o}}^n \lambda_j X_j^{\text{inf}(a)} + \lambda_{jo} X_o^{\text{sup}(a)} \leq \theta X_o^{\text{sup}(a)} \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq o}}^n \lambda_j Y_j^{\text{sup}(a)} + \lambda_{jo} Y_o^{\text{inf}(a)} \geq Y_o^{\text{inf}(a)} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

مدل برنامه ریزی خطی (۱۰) یک مدل برنامه ریزی خطی قطعی با پارامتر  $a$  است و ضمانت می کند که ماکزیمم مقدار برای DMU به دست آمده است که آن را با  $\theta^{\text{inf}(a)}$  نشان می دهیم. مطابقاً اگر ورودیهای DMU ماکزیمم مقدار هستند و خروجی های DMU مینیمم مقدار هستند، درحالی که ورودیهای بقیه  $n-1$  تا DMU مینیمم مقدار هستند و خروجی های بقیه ی  $n-1$  تا DMU ماکزیمم مقدار هستند، آنگاه مینیمم مقدار کارایی برای DMU به دست آمده است؛ بنابراین مدل بازه ای برنامه ریزی (۱۱) به صورت زیر قابل تبدیل است.

رابطه شماره (۱۱):

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta \\ & \text{st. } \begin{cases} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq o}}^n \lambda_j X_j^{\text{sup}(a)} + \lambda_{jo} X_o^{\text{inf}(a)} \leq \theta X_o^{\text{inf}(a)} \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq o}}^n \lambda_j Y_j^{\text{inf}(a)} + \lambda_{jo} Y_o^{\text{sup}(a)} \geq Y_o^{\text{sup}(a)} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$



مدل برنامه ریزی خطی (۱۱) یک مدل برنامه ریزی خطی قطعی با پارامتر  $a$  است و ضمانت می کند که مینیمم مقدار برای DMU به دست آمده است که آن را با  $\theta^{\sup(a)}$  نشان می دهیم. فرض کنید  $\theta^{\sup(a)}$  و  $\theta^{\inf(a)}$  جواب های بهینه ماکزیمم مقدار (5) و مینیمم مقدار (6) باشد آنگاه واضح است که  $\theta^{\inf(a)} \geq \theta^{\sup(a)}$ .  
تعریف: DMU کارایی DEA راف است اگر بهترین کارایی ممکن در کران بالای آن یعنی  $\theta^{\inf(a)} = 1$  داشته باشد. رابطه شماره (۱۲):

$$\begin{aligned} \max E_j - \sum_j d_j \\ \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j [y_j^{\sup(a)} \cdot y_j^{\inf(a)}] &\leq [y_o^{\sup(a)} \cdot y_o^{\inf(a)}] - \left( E_j - \sum_j d_j \right) g_y \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\geq x_{io} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\geq x_{io} \\ E_j - \sum_j d_j &\geq 0 \\ \lambda_j &\geq 0 \end{aligned}$$

این مدل تبدیل شده با استفاده از مفاهیم DEA راف، می باشد در این مدل خروجی ها به عنوان یک مقدار در مجموعه راف فازی در نظر گرفته می شوند و ورودی ها همچنان در حالت قطعیت بررسی شوند. بدین صورت یک سیستم اطلاعاتی متشکل از اشیاء تحت عنوان سازمان (شرکت، تشکیلات و...) و شاخص های بدهی، سرمایه، فروش و ارزیابی عملکرد و... که به صورت یک مقدار کیفی و در مجموعه راف فازی است را در نظر می گیریم. قابل ذکر است که مجموعه فوق را به صورت مقداری در بازه (۱۰۰,۰) در نظر می گیریم. از مدل RDEA ارائه شده توسط روابط مذکور برای ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین استفاده می شود و در این ارزیابی شاخص هزینه به صورت اعداد راف در نظر گرفته شده و سایر شاخص ها قطعی هستند. سیستم شاخص ها هر دو دسته فاکتور ورودی و خروجی را در نظر گرفته است. سه دسته شاخص های ورودی به صورت دسته شاخص هزینه (شامل هزینه های عملیاتی، هزینه های مستقیم و هزینه های تبادل)، دسته شاخص زمان (شامل زمان تدارک سفارش) و دسته شاخص منابع انسانی (شامل تعداد کل کارکنان) در نظر گرفته شده اند و سه دسته شاخص های خروجی به صورت دسته شاخص انعطاف پذیری (شامل انعطاف پذیری محصول و انعطاف پذیری تحویل)، دسته شاخص مالی (شامل حجم فروش و سود خالص) و دسته شاخص سطح سرویس (شامل نرخ تکمیل سفارش و درصد تحویل به موقع) هستند. رابطه بعضی از شاخص ها جهت اشاره به شیوه محاسبه و اندازه گیری، به صورت زیر است:

$$\text{هزینه ماشین} + \text{هزینه کارگران} + \text{هزینه مواد اولیه} = \text{هزینه های مستقیم}$$

$$\text{مخارج مالی} + \text{مخارج اداری} = \text{هزینه های عملیاتی}$$

$$\text{مخارج پردازش اطلاعات} + \text{مخارج بازاریابی} + \text{مخارج خرید} = \text{هزینه های تبادل}$$

$$\text{تاریخ رسیدن سفارش} - \text{تاریخ تکمیل سفارش} = \text{زمان تدارک سفارش}$$

$$\text{نرخ تکمیل سفارش} = \frac{\text{حجم کل سفارشات قبولی}}{\text{حجم کل سفارشات رسیده}} \times 100\%$$

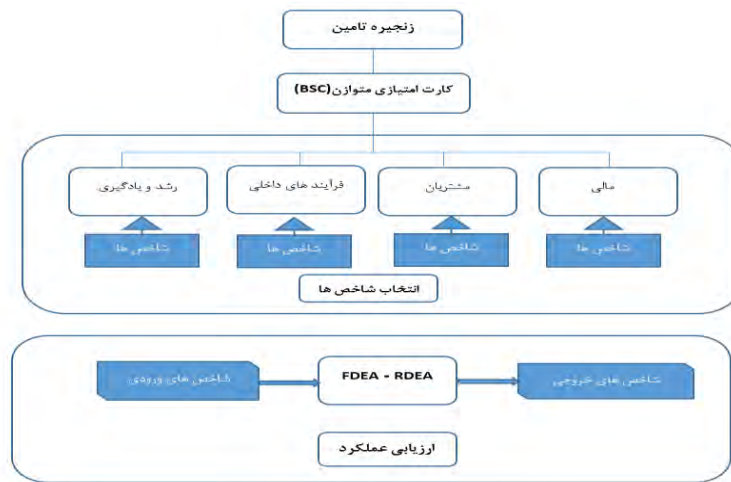
$$\text{درصد تحویل به موقع} = \frac{\text{حجم کل سفارشات به موقع تحویل داده شده}}{\text{حجم کل سفارشات انجام شده}} \times 100\%$$

$$\text{تاریخ تسویه سفارش} - \text{تاریخ شروع سفارش} = \text{زمان سیکل کامل زنجیره تامین}$$

$$\text{کیفیت محصول تحویلی} = 1 - \frac{\text{سفارشات نامرغوب}}{\text{حجم کل سفارشات رسیده}} \times 100\%$$

$$\text{مقدار ریالی فروش یا درآمد} = \text{حجم فروش}$$

ارزیابی عملکرد زنجیره تامین با روش های BSC-FDEA و BSC-RDEA (مطالعه: پنج شرکت تولید موتورهای دیزل در صنایع خودروسازی تبریز) ۹۳  
 این پژوهش BSC به عنوان ابزاری برای طراحی شاخص های ارزیابی عملکرد و از DEA به عنوان ابزاری برای ارزیابی کارایی و عملکرد استفاده شده است که ارتباط میان این دو تکنیک در شکل زیر آورده شده است.



شکل شماره (۵): مدل ترکیبی ارزیابی عملکرد

جامعه آماری این تحقیق مدیران ارشد و میانی شرکت های تولید خودروهای دیزلی آذربایجان می باشد که به صورت خلاصه در جدول (۱) معرفی آنها پرداخته شده است.

جدول شماره (۱): نام پنج شرکت مورد بررسی

نام شرکت	شماره واحد تصمیم گیری DMU
سیبا موتور	DMU1
آذهایتکس	DMU2
رخش خودرو دیزل	DMU3
امیکو(ارس خودرو)	DMU4
خودروهای دیزلی آذربایجان	DMU5

پس از مطالعه مقالات و تحقیقات لازم از جمله مقاله آقای جیوپینگ ژو<sup>۷</sup> (۲۰۰۹) که از مدل کارت امتیازی متوازن در ارزیابی عملکرد زنجیره تامین استفاده کرده اند و با نظر خبرگان، شاخص ها در جنبه های مالی، مشتری، فرآیندهای کسب و کار داخلی، نوآوری و یادگیری استخراج شدند و در پرسشنامه مورد استفاده قرار گرفتند. روایی صوری به صورت کیفی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. از این رو برای یافتن دشواری در درک عبارات و کلمات، تناسب و ارتباط مطلوب شاخصها، احتمال وجود ابهام و برداشت های نارسا از عبارات و یا وجود نارساییهایی که ممکن است در معانی کلمات وجود داشته باشد پرسشنامه در بین ۳۰ نفر از پاسخ دهندگان توزیع شد و نقطه نظرات آنان در پرسشنامه اعمال و جملات دارای ابهام از نظر آنان تغییر داده شد. در روایی محتوایی کیفی پرسشنامه از طریق اساتید و جمعی از صاحب نظران در زمینه صنایع خودروسازی و زنجیره تامین بررسی و روایی آن مورد تایید قرار گرفت. برای آزمون روایی محتوا در این تحقیق از ۳۰ نفر متخصص در امور زنجیره تامین و خودروسازی استفاده شده است. حداقل قابل قبول برای تایید هر سوال با ۳۰ نفر خبره برابر ۰/۳۳ می باشد. که برای هر سوال به تفکیک محاسبه شد. از آنجا که تمامی سوالات CVR بالاتر از ۰/۳۳ به دست آمد بنابراین روایی محتوایی کمی پرسشنامه تایید می شود. برای سنجش پایایی در این تحقیق از روش آلفای کرونباخ استفاده شد به این نحوی که ۳۰ نفر از نمونه تحقیق به طور تصادفی انتخاب شده، سپس پرسشنامه در اختیار آنان قرار گرفت و با استفاده از داده های بدست آمده از این پرسش نامه ها به کمک نرم افزار آماری SPSS میزان آلفای کرونباخ محاسبه شد. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول شماره (۲): پایایی

ابعاد	تعداد سوالات	آلفای کرونباخ
کل پرسشنامه	۵۱	۰/۸۰۱
مالی	۱۰	۰/۷۸۱
		۰/۷۹۱
		۰/۸۸۲
مشتری	۱۷	۰/۸۹۳
		۰/۷۷۴
		۰/۸۲۱
فرایندهای داخلی	۱۲	۰/۸۳۲
		۰/۸۲۲
		۰/۸۴۴
رشد و یادگیری	۱۲	۰/۷۴۵
		۰/۷۶۳
		۰/۸۹۱

از آنجایی که کلیه ابعاد و کل پرسشنامه دارای پایایی بالاتر از ۰/۷ می باشند لذا پایایی پرسشنامه مورد تایید است.

### ۳- نتایج و بحث

برای ارزیابی کارایی شبکه زنجیره تأمین پنج شرکت خودروسازی استفاده شد. تمامی داده‌ها از داده‌های آماری این پنج شرکت در سال ۱۳۹۸ استخراج شده است. همچنین جدول (۳) مقادیر مربوط به شاخص‌های هزینه را که به صورت فازی و جدول (۴) مقادیر مربوط به شاخص هزینه را که به شکل مجموعه اعداد راف نشان می دهد. اعداد فازی در نظر گرفته شده به صورت مثلثی متقارن هستند. در جدول (۳) عدد اول نشان دهنده مرکز عدد فازی و عدد دوم نشان دهنده فاصله از طرفین عدد فازی مثلثی متقارن است.

جدول شماره (۳): مقادیر مربوط به شاخص‌های هزینه‌ای برای زنجیره‌های تأمین جهت استفاده در روش FDEA

	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$DMU_1$	(۳۷۸۰،۱۹۵)	(۴۳۱،۸۸)	(۸۶۵،۱۰۲)
$DMU_2$	(۲۹۹۵،۱۷۱)	(۳۱۰،۳۵)	(۹۹۵،۱۳۵)
$DMU_3$	(۱۹۸۱،۱۲۰)	(۲۷۰،۱۱)	(۴۹۵،۸۸)
$DMU_4$	(۲۷۹۰،۱۲۵)	(۱۸۲۰،۹۹)	(۳۹۵،۱۹)
$DMU_5$	(۹۴۰،۱۹۱)	(۱۶۰،۱۵)	(۲۳۰،۴۵)

جدول شماره (۴): مقادیر مربوط به شاخص‌های هزینه‌ای برای زنجیره‌های تأمین جهت استفاده در روش RDEA

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$DMU_1$	([1650.1775]. [1545.1867])	([520.560]. [450.600])	([920.990]. [870.1080])
$DMU_2$	([2040.2240]. [1915.2460])	([560.600]. [500.650])	([780.820]. [720.850])
$DMU_3$	([1980.2080]. [1700.2180])	([620.720]. [560.780])	([960.1030]. [890.100])

$DMU_4$  ([1760.1840]. [1650.1900]) ([710.730]. [680.760]) ([870.920]. [810.970])

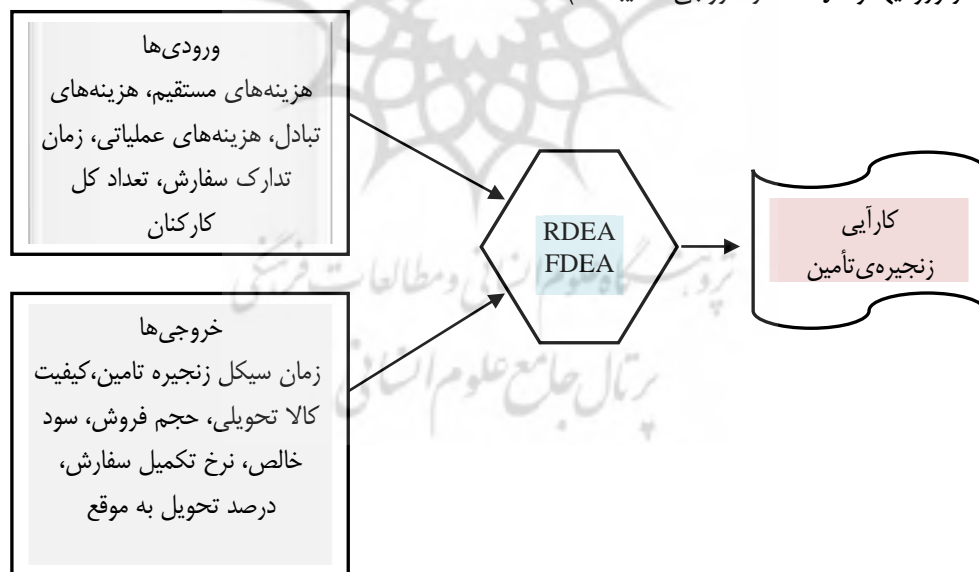
$DMU_5$  ([2120.2210]. [1920.2300]) ([565.585]. [470.620]) ([920.970]. [810.1020])

جدول (۵) دربرگیرنده سایر شاخص‌های مربوط به ارزیابی زنجیره تأمین پنج شرکت خودروسازی می‌باشد. تمامی اعداد این جدول به صورت اعداد قطعی هستند.

جدول شماره (۵): داده‌های مربوط به شاخص‌های غیر هزینه‌ای زنجیره‌های تأمین

	$X_4$	$X_5$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$
$DMU_1$	۲۳	۱۵۸۰	۸	-/۹۸	۶۰۹۰	۲۲۵۸	%۹۴	%۹۸
$DMU_2$	۴۴	۲۲۹۱	۱۱	-/۹۹	۸۷۷۷	۱۸۴۷	%۸۹	%۸۱
$DMU_3$	۴۲	۲۹۶۳	۵	-/۹۶	۶۸۵۰	۱۶۷۵	%۹۳	%۸۹
$DMU_4$	۳۶	۲۳۴۰	۴	-/۹۸	۵۲۵۹	۲۸۶۵	%۸۸	%۹۱
$DMU_5$	۴۷	۲۸۸۵	۴	-/۹۹	۸۲۶۶	۳۱۷۸	%۸۱	%۸۷

در جداول با توجه به سیستم شاخص ارزیابی بخش قبل،  $X_1$  نشان‌دهنده هزینه‌های مستقیم،  $X_2$  نشان‌دهنده هزینه‌های عملیاتی،  $X_3$  نشان‌دهنده هزینه‌های تبادل،  $X_4$  نشان‌دهنده زمان تدارک سفارش،  $X_5$  نشان‌دهنده تعداد نفر ساعت کل کارکنان،  $Y_1$  نشان‌دهنده زمان سیکل کامل زنجیره تأمین محصول،  $Y_2$  نشان‌دهنده کیفیت محصول،  $Y_3$  نشان‌دهنده حجم فروش،  $Y_4$  نشان‌دهنده سود خالص،  $Y_5$  نشان‌دهنده نرخ تکمیل سفارش و  $Y_6$  نشان‌دهنده درصد تحویل به موقع است. ( $X_i$  نشانگر ورودیها و  $Y_i$  نشانگر خروجیها میباشند)



شکل شماره (۶): مدل مفهومی تحقیق

مدل مفهومی تحقیق برای این مساله به صورت زیر است:

الف) تحلیل پوششی داده‌های فازی

حال با استفاده از روابط (۷) و (۸) به ارزیابی کارایی زنجیره‌های تأمین می‌پردازیم. نمونه برنامه‌ریزی خطی استفاده شده برای ارزیابی کارایی واحد تصمیم‌گیری یک (زنجیره‌ی تأمین شرکت کلیدی یک) در سطح اطمینان  $h = 0.7$  به این صورت است:

$$\max u = 8u_1 + 0/98u_2 + 6090u_3 + 2258u_4 + 0/94u_5 + 0/98u_6$$

s.t.

$$\begin{aligned}
 &195_{v1} + 88_{v2} + 102_{v3} \geq // 888 \\
 &3780_{v1} - 431_{v2} - 865_{v3} + 23_{v4} - 1580_{v5} - (1-0/7)(195_{v1} - 88_{v2} - 102_{v3}) = 1 - (1-0/7) \times 0/197 \\
 &3780_{v1} + 431_{v2} + 865_{v3} + 23_{v4} + 1580_{v5} + (1-0/7)(195_{v1} + 88_{v2} + 102_{v3}) \leq 1 + (1-0/7) \times 0/197 \\
 &8_{u1} - 0/98_{u2} - 6090_{u3} - 2258_{u4} - 0/94_{u5} - 0/98_{u6} \leq 3780_{v1} - 431_{v2} - 865_{v3} - 23_{v4} - 1580_{v5} - (1-0/7)(195_{v1} + 88_{v2} + 102_{v3}) \\
 &8_{u1} + 0/98_{u2} + 6090_{u3} + 2258_{u4} + 0/94_{u5} + 0/98_{u6} \leq 3780_{v1} + 431_{v2} + 865_{v3} + 23_{v4} + 1580_{v5} + (1-0/7)(195_{v1} + 88_{v2} \\
 &+ 102_{v3}) \\
 &11_{u1} - 0/99_{u2} - 8777_{u3} - 1847_{u4} - 0/89_{u5} - 0/81_{u6} \leq 2995_{v1} - 310_{v2} - 995_{v3} - 44_{v4} - 2291_{v5} - (1-0/7)(171_{v1} + 35_{v2} + 135_{v3}) \\
 &11_{u1} + 0/99_{u2} + 8777_{u3} + 1847_{u4} + 0/89_{u5} + 0/81_{u6} \leq 2995_{v1} + 310_{v2} + 995_{v3} + 44_{v4} + 2291_{v5} + (1-0/7)(171_{v1} + 35_{v2} \\
 &+ 135_{v3}) \\
 &5_{u1} - 0/96_{u2} - 6850_{u3} - 1675_{u4} - 0/93_{u5} - 0/89_{u6} \leq 1981_{v1} - 270_{v2} - 495_{v3} - 42_{v4} - 2963_{v5} - (1-0/7)(120_{v1} + 11_{v2} + 88_{v3}) \\
 &5_{u1} + 0/96_{u2} + 6850_{u3} + 1675_{u4} + 0/93_{u5} + 0/89_{u6} \leq 1981_{v1} + 270_{v2} + 495_{v3} + 42_{v4} + 2963_{v5} + (1-0/7)(120_{v1} + 11_{v2} \\
 &+ 88_{v3}) \\
 &4_{u1} - 0/98_{u2} - 8266_{u3} - 3178_{u4} - 0/81_{u5} - 0/87_{u6} \leq 2790_{v1} - 1820_{v2} - 395_{v3} - 36_{v4} - 2340_{v5} - (1-0/7)(125_{v1} + 99_{v2} + 19_{v3}) \\
 &4_{u1} + 0/98_{u2} + 8266_{u3} + 3178_{u4} + 0/81_{u5} + 0/87_{u6} \leq 2790_{v1} + 1820_{v2} + 395_{v3} + 36_{v4} + 2340_{v5} + (1-0/7)(125_{v1} + 99_{v2} \\
 &+ 19_{v3}) \\
 &4_{u1} - 0/99_{u2} - 8266_{u3} - 3178_{u4} - 0/81_{u5} - 0/87_{u6} \leq 940_{v1} - 160_{v2} - 230_{v3} - 47_{v4} - 2885_{v5} - (1-0/7)(191_{v1} + 15_{v2} + 45_{v3}) \\
 &4_{u1} + 0/99_{u2} + 8266_{u3} + 3178_{u4} + 0/81_{u5} + 0/87_{u6} \leq 940_{v1} + 160_{v2} + 230_{v3} + 47_{v4} + 2885_{v5} + (1-0/7)(191_{v1} + 15_{v2} \\
 &+ 45_{v3})
 \end{aligned}$$

به شرطی که:

$$v1, v2, v3, v4, v5, u1, u2, u3, u4, u5, \dots \geq 0$$

مدل برنامه ریزی خطی با استفاده از نرم افزار LINGO برای هر پنج زنجیره تأمین در سطح اطمینان ۰.۷ حل شده است. جدول (۷) نشان دهنده مقادیر کارایی های محاسبه شده برای پنج واحد تصمیم گیری در سطح اطمینان ۰.۷ است. این مقادیر به صورت اعداد فازی مثلثی غیرممتقارن هستند. عدد وسط نشان دهنده مرکز عدد فازی، عدد سمت راست نشان دهنده گسترش از سمت راست و عدد سمت چپ نشان دهنده مقدار گسترش از سمت چپ عدد فازی مورد نظر است.

جدول شماره (۶): مقادیر کارایی های محاسبه شده برای پنج واحد تصمیم گیری

کارایی فازی	واحد تصمیم گیری
(۰/۳۸۶۰ ، ۰/۹۵۸۱ ، ۰/۰۴۱۹)	$DMU_1$
(۰/۰۳۵۸ ، ۰/۹۶۱۴ ، ۰/۰۳۸۴)	$DMU_2$
(۰/۰۳۸۴ ، ۰/۷۴۱۵ ، ۰/۰۳۸۳)	$DMU_3$
(۰/۰۲۴۱ ، ۰/۹۲۹۱ ، ۰/۰۲۵۴)	$DMU_4$
(۰/۰۳۶۹ ، ۰/۹۵۹۹ ، ۰/۰۴۰۰)	$DMU_5$

همانطور که در جدول (۶) مشاهده می شود نتایج بدست آمده از مدل FDEA به صورت اعداد فازی هستند. در نتیجه برای رتبه بندی آن ها باید از روش های مقایسه اعداد فازی استفاده کرد. در این جا، از روش رتبه بندی با استفاده از میانگین و پراکندگی فازی استفاده می شود. این روش اعداد فازی را بر اساس دو شاخص مقدار میانگین اعداد فازی و پراکندگی آن ها رتبه بندی می کند. فرض بر این است که برای تصمیم گیرنده، عدد فازی با میانگین بیشتر و پراکندگی کمتر مقبول تر است.

جدول شماره (۷): کارایی دفازی شده با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده های فازی

کارایی دفازی شده	کارایی فازی	واحد تصمیم گیری
۰/۳۳۳	(۰/۰۳۷۷ ، ۰/۹۲۰۳ ، ۰/۰۴۱۴)	$DMU_1$
۰/۳۴۴	(۰/۰۳۶۶ ، ۰/۹۶۰۲ ، ۰/۰۳۷۹)	$DMU_2$
۰/۳۰۳	(۰/۰۳۲۵ ، ۰/۸۴۱۱ ، ۰/۰۳۷۸)	$DMU_3$
۰/۳۶۶	(۰/۰۴۴۱ ، ۰/۹۹۹۹ ، ۰/۰۵۵۱)	$DMU_4$

$$DMU_5 \quad (0/0.408, 0/0.9499, 0/0.301) \quad 0/340$$

با استفاده از روابط بالا و دفازی کردن با استفاده از روش میانگین رتبه بندی واحدهای تصمیم گیری (زنجیره های تأمین) به صورت جدول (۷) انجام می شود. برتری یک زنجیره تأمین بر دیگری نشانگر این موضوع است که شبکه زنجیری تأمین یکی بر دیگری برتری داشته است. به طور مثال برتری زنجیره تأمین دو بر زنجیره تأمین پنج گویای این مطلب است که شرکت کلیدی (تولیدکننده) زنجیره تأمین دو در شاخص ها و ارتباطاتش با تأمین کنندگان و مشتریان خود بهتر از زنجیره تأمین پنج عمل کرده است. لذا از نظر کارایی شرکت های خودروسازی آمیکو، سیبا موتور، رخس خودرو (تایماز)، آدهایتکس، خودروهای دیزلی آذربایجان دارای رتبه یک الی پنج می باشند

در این مساله، سطح اطمینان  $h$  به عنوان پارامتر حساسیت در نظر گرفته شده است. جدول (۸) نتایج کارایی زنجیره های تأمین را در سطوح اطمینان مختلف نشان می دهد.

واحد تصمیم گیری	$h$ 0.6	$h$ 0.7	$h$ 0.8
$DMU_1$	(0/0.501, 0/0.9139, 0/0.160)	(0/0.377, 0/0.9203, 0/0.414)	(0/0.263, 0/0.9321, 0/0.278)
$DMU_2$	(0/0.466, 0/0.9482, 0/0.517)	(0/0.366, 0/0.9602, 0/0.379)	(0/0.243, 0/0.9473, 0/0.256)
$DMU_3$	(0/0.449, 0/0.8300, 0/0.512)	(0/0.325, 0/0.8411, 0/0.378)	(0/0.238, 0/0.8523, 0/0.255)
$DMU_4$	(0/0.514, 0/0.9899, 0/0.637)	(0/0.441, 0/0.9988, 0/0.551)	(0/0.164, 0/0.9999, 0/0.169)
$DMU_5$	(0/0.280, 0/0.9459, 0/0.535)	(0/0.301, 0/0.9499, 0/0.408)	(0/0.252, 0/0.9533, 0/0.266)

جدول شماره (۸): کارایی زنجیره های تأمین در سطوح اطمینان مختلف

واحد تصمیم گیری	$h$ 0.9	$h$ 1.0
$DMU_1$	(0/0.135, 0/0.9460, 0/0.139)	(0, 0/0.9541, 0)
$DMU_2$	(0/0.124, 0/0.9872, 0/0.127)	(0/1, 0)
$DMU_3$	(0/0.123, 0/0.8632, 0/0.127)	(0, 0/0.8940, 0)
$DMU_4$	(0/0.083, 0/1, 0/0.085)	(0/1, 0)
$DMU_5$	(0/0.129, 0/0.9617, 0/0.132)	(0, 0/0.9515, 0)

ادامه جدول شماره (۸): کارایی زنجیره های تأمین در سطوح اطمینان مختلف

همانطور که در جدول (۸) مشاهده می شود با افزایش سطح اطمینان مرکز اعداد فازی که تعیین کننده کارایی زنجیره های تأمین هستند نیز افزایش پیدا می کند. همچنین با افزایش سطح اطمینان طول بال های عدد فازی نیز کمتر می شود تا در سطح اطمینان  $h = 1.0$  این مقدار به صفر می رسد. در سطح اطمینان  $h = 1.0$  مدل FDEA معادل مدل قطعی و کلاسیک DEA مدل چارنز، کوپر و رودز (CCR) می باشد.

(ب) تحلیل پوششی داده ها با اعداد راف

مشابه روش حل با اعداد فازی داده های ورودی و خروجی که برای هر یک از شرکت های کلیدی (تولیدکننده) زنجیره های - تأمین مشخص شده به مدل تحلیل پوششی داده ها با اعداد ناهموار وارد می شود تا این مدل کارایی زنجیره تأمین مورد نظر را محاسبه کند. حال با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) به ارزیابی کارایی زنجیره های تأمین می پردازیم. نمونه برنامه ریزی خطی استفاده شده برای ارزیابی کارایی واحد تصمیم گیری یک (زنجیره تأمین شرکت کلیدی یک) در سطح اطمینان  $0/9$  به این صورت است:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \theta^{\text{inf}(a)} \\
 & \left\{ \begin{aligned}
 & 1575.4\lambda_1 + 2316\lambda_2 + 2049\lambda_3 + 1815\lambda_4 + 2185\lambda_5 + 2021\lambda_6 - 1574.4\theta^{\text{inf}(a)} \leq 0 \\
 & 445\lambda_1 + 585\lambda_2 + 701\lambda_3 + 709\lambda_4 + 555\lambda_5 + 653\lambda_6 - 445\theta^{\text{inf}(a)} \leq 0 \\
 & 877\lambda_1 + 789\lambda_2 + 1031\lambda_3 + 903\lambda_4 + 943\lambda_5 + 1131\lambda_6 - 877\theta^{\text{inf}(a)} \leq 0 \\
 & 23\lambda_1 + 44\lambda_2 + 42\lambda_3 + 36\lambda_4 + 47\lambda_5 - 23\theta^{\text{sup}(x)} \leq 0 \\
 & 1580\lambda_1 + 2291\lambda_2 + 2963\lambda_3 + 2340\lambda_4 + 2885\lambda_5 + 1166\lambda_6 - 1580\theta^{\text{inf}(a)} \leq 0 \\
 & 8\lambda_1 + 11\lambda_2 + 5\lambda_3 + 4\lambda_4 + 4\lambda_5 - 8 \geq 0 \\
 & 0.98\lambda_1 + 99\lambda_2 + 96\lambda_3 + 0.98\lambda_4 + 99\lambda_5 - 0.98 \geq 0 \\
 & 6090\lambda_1 + 8777\lambda_2 + 6850\lambda_3 + 5259\lambda_4 + 8266\lambda_5 - 6090 \geq 0 \\
 & 2058\lambda_1 + 1847\lambda_2 + 1675\lambda_3 + 2865\lambda_4 + 3178\lambda_5 - 2258 \geq 0 \\
 & 6090\lambda_1 + 8777\lambda_2 + 6850\lambda_3 + 5259\lambda_4 + 8266\lambda_5 - 6090 \geq 0 \\
 & 0.94\lambda_1 + 0.89\lambda_2 + 0.93\lambda_3 + 0.88\lambda_4 + 0.81\lambda_5 - 0.94 \geq 0 \\
 & 0.98\lambda_1 + 0.81\lambda_2 + 0.89\lambda_3 + 0.91\lambda_4 + 0.87\lambda_5 - 0.98 \geq 0
 \end{aligned} \right. \\
 & \text{s. t.} \\
 & \left\{ \begin{aligned}
 & 1767.6\lambda_1 + 1989\lambda_2 + 1761\lambda_3 + 1665\lambda_4 + 1961\lambda_5 + 1889\lambda_6 - 1767.6\theta^{\text{sup}(a)} \leq 0 \\
 & 535\lambda_1 + 495\lambda_2 + 569\lambda_3 + 661\lambda_4 + 465\lambda_5 + 557\lambda_6 - 535\theta^{\text{sup}(a)} \leq 0 \\
 & 1003\lambda_1 + 711\lambda_2 + 699\lambda_3 + 807\lambda_4 + 817\lambda_5 + 939\lambda_6 - 1003\theta^{\text{sup}(a)} \leq 0 \\
 & 23\lambda_1 + 44\lambda_2 + 42\lambda_3 + 36\lambda_4 + 47\lambda_5 - 23\theta^{\text{sup}(x)} \leq 0 \\
 & 1580\lambda_1 + 2291\lambda_2 + 2963\lambda_3 + 2340\lambda_4 + 2885\lambda_5 + 1166\lambda_6 - 1580\theta^{\text{sup}(a)} \leq 0 \\
 & 8\lambda_1 + 11\lambda_2 + 5\lambda_3 + 4\lambda_4 + 4\lambda_5 - 8 \geq 0 \\
 & 0.98\lambda_1 + 99\lambda_2 + 96\lambda_3 + 0.98\lambda_4 + 99\lambda_5 - 0.98 \geq 0 \\
 & 6090\lambda_1 + 8777\lambda_2 + 6850\lambda_3 + 5259\lambda_4 + 8266\lambda_5 - 6090 \geq 0 \\
 & 2058\lambda_1 + 1847\lambda_2 + 1675\lambda_3 + 2865\lambda_4 + 3178\lambda_5 - 2258 \geq 0 \\
 & 6090\lambda_1 + 8777\lambda_2 + 6850\lambda_3 + 5259\lambda_4 + 8266\lambda_5 - 6090 \geq 0 \\
 & 0.94\lambda_1 + 0.89\lambda_2 + 0.93\lambda_3 + 0.88\lambda_4 + 0.81\lambda_5 - 0.94 \geq 0 \\
 & 0.98\lambda_1 + 0.81\lambda_2 + 0.89\lambda_3 + 0.91\lambda_4 + 0.87\lambda_5 - 0.98 \geq 0
 \end{aligned} \right. \\
 & \text{Min } \theta^{\text{sup}(a)} \text{ s. t.}
 \end{aligned}$$

مدل برنامه ریزی خطی با استفاده از نرم افزار R برای هر پنج زنجیره تأمین در سطح اطمینان ۰/۹ حل شده است. جدول (۹) نشان دهنده مقادیر کارآیی های محاسبه شده برای پنج واحد تصمیم گیری در سطح اطمینان ۰/۹ است. این مقادیر به صورت مجموعه اعداد راف هستند.

جدول شماره (۹): مقادیر کارآیی های محاسبه شده برای پنج واحد تصمیم گیری

DMU	Efficiency interval
DMU <sub>1</sub>	[0.3421,1.000]
DMU <sub>2</sub>	[0.8322,0.9240]
DMU <sub>3</sub>	[0.4731,1.000]
DMU <sub>4</sub>	[0.4834,0.9560]
DMU <sub>5</sub>	[0.9952,1.000]

با توجه به نتایج حاصله بدیهی است که کارایی زنجیره تأمین شرکت پنج بالاتر از بقیه شرکت ها می باشد. مشابه روش FDEA در این روش نیز با استفاده از تحلیل حساسیت با تغییر در سطح اطمینان رتبه بندی شرکت ها را در سطوح مختلف مورد بررسی قرار می دهیم:

جدول شماره (۱۰): کارآیی زنجیره های تأمین در سطوح اطمینان مختلف

	$\alpha = 0.6$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 0.8$	$\alpha = 0.9$	$\alpha = 10$
DMU1	[0.2542.0.09999]	[0.2708.0.999]	[0.2893.1.000]	[0.3421.1.000]	[0.4132.1.000]
DMU2	[0.5843.0.8893]	[0.7123.0.9009]	[0.7411.0.92.2]	[0.4731.1.000]	[0.8576.0.9480]
DMU3	[0.2506.0.9998]	[0.2734.1.0000]	[0.2845.1.000]	[0.4731.1.000]	[0.5033.1.000]
DMU4	[0.2902.0.8763]	[0.3313.0.9021]	[0.3826.0.9444]	[0.4834.0.9560]	[0.4967.0.9763]
DMU5	[0.9937.1.000]	[0.9944.1.000]	[0.9949.1.000]	[0.9952.1.000]	[0.9999.1.000]

DMU6	[0.7754.1.000]	[0.8023.1.000]	[0.8201.1.000]	[0.845.1.000]	[0.9038.1.000]
------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------

همانطور که در جدول (۱۰) مشاهده می شود با افزایش سطح اطمینان کارایی زنجیره های تأمین نیز افزایش پیدا می کند. در این پژوهش از مدل تحلیل پوششی داده های ورودی گرا به عنوان اساس ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین استفاده شده است و از مدل کارت امتیازی متوازن در انتخاب شاخص ها استفاده شد و در نهایت مدل های Rough DEA، Fuzzy DEA برای ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین شرکت های خودروسازی مورد استفاده قرار گرفت. جدول (۱۱) رتبه بندی پنج زنجیره های تأمین را با استفاده از سه روش ذکر شده نشان می دهد.

جدول شماره (۱۱): رتبه بندی واحدهای تصمیم گیری با استفاده از سه روش

واحد تصمیم گیری	رتبه در مدل FDEA	رتبه در مدل DEA کلاسیک	رتبه در مدل RDEA
$DMU_1$	۴	۳	۲
$DMU_2$	۲	۱	۳
$DMU_3$	۵	۵	۴
$DMU_4$	۱	۱	۱
$DMU_5$	۳	۴	۵

نتایج مدل DEA کلاسیک همان نتایجی است که در حالت  $h = 1.0$  برای مدل FDEA به دست می آید؛ در این حالت مراکز اعداد فازی مربوط به شاخص های هزینه ای به عنوان مقادیر آن ها برای زنجیره های تأمین در نظر گرفته می شود. همانطور که از جدول (۱۳) مشاهده می شود مدل FDEA رتبه بندی منطقی تر و بهتری را نسبت به RDEA در مقایسه با مدل DEA کلاسیک ارائه داده است. نتایج مدل FDEA برای ارزیابی کارایی زنجیره تأمین به مدل DEA کلاسیک نزدیک تر است. باتوجه به این که در هر سه روش زنجیره تأمین چهارم دارای رتبه یک است می توان نتیجه گرفت نتایج هر سه روش باهم سازگار هستند و همگی در رتبه اول اتفاق نظر دارند. رتبه ی زنجیره های تأمین دو، سه، چهار در هر دو مدل FDEA و DEA کلاسیک ثابت است و رتبه ی واحدهای تصمیم گیری یک، پنج دچار تغییر شده است. نتایج مدل RDEA با دو مدل دیگر تفاوت هایی دارد، برای مثال زنجیره تأمین شماره ی سوم که در دو مدل FDEA و DEA کلاسیک دارای رتبه ی پنج است در مدل RDEA رتبه ی چهار را کسب کرده است.

در مدل DEA کلاسیک زنجیره های تأمین دو و چهار کارا شده اند و دارای مقدار کارایی یک هستند و برای مقایسه آن ها باید از ابزارهای دیگری استفاده کرد ولی این حالت در مدل FDEA رخ نداده است و در این مدل زنجیره های تأمین به صورت مناسب تری رتبه بندی می شوند. در نهایت می توان نتیجه گرفت که برای مساله ارزیابی کارایی زنجیره تأمین مدل FDEA بهتر از دو مدل DEA کلاسیک و RDAE جواب می دهد.

نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات زیر همخوانی دارد:

ژو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل تحلیل پوششی داده ها ناهموار را برای ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین توسعه دادند. در حالیکه در این پژوهش علاوه بر استفاده از مدل مورد استفاده از مدل کارت امتیازی متوازن نیز استفاده شده است که بر اساس آن شاخص ها در چهار رویکرد مالی، فرآیندهای داخلی سازمان، مشتری و رویکرد رشد و یادگیری در قالب یک پرسشنامه طراحی شده اند. استمپ<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۰) با ارائه چارچوبی تلاش کردند مدل های ارزیابی عملکرد زنجیره های تأمین را تحلیل کنند. این تحلیل با مشخص کردن ویژگی های خاص و قابلیت های هر مدل در زمینه های مختلف صورت گرفته است. آن ها همچنین تلاش کرده اند مدل ها را به صورت تحلیلی به هفت لایه کوچکتر تقسیم کنند تا به مدیران کمک کند که مدل مناسب برای احتیاجات خود را به درستی انتخاب کنند. DEA در مجموعه ناهموار نمیتواند داده ها را در دنیای واقعی تجسم کند این پژوهش در قالب فازی موفق به حل مشکل مذکور شده است. وانگ و وانگ<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۷) از یک مدل تحلیل پوششی داده های کلاسیک

<sup>8</sup> Xu

<sup>9</sup> Estampe

<sup>10</sup> Wong & Wong



برای ارزیابی عملکرد ۲۲ زنجیره‌ی تأمین استفاده کردند. در تحقیق آن‌ها از معیارهایی مانند سود، تحویل به موقع و هزینه استفاده شده است. مشکل این مدل این بوده است که مدل مذکور قابل ارائه در دنیای واقعی نبوده است اما پژوهشگر در این پژوهش موفق به برطرف کردن این مشکل با استفاده از مدل فازی شده است تا بتواند در دنیای واقعی قابل پیاده سازی باشد.

با توجه به نتایج وجود برنامه‌ریزی بلندمدت و ترسیم افق استراتژیک با پیش بینی تحولات اقتصادی و سیاسی برای مدیریت بهینه در سرتاسر زنجیره‌تأمین جهت به حداقل رساندن زمان سیکل زنجیره‌تأمین ضروری می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده کیفیت کالای تحویلی که بر اساس نسبت سفارشات نامرغوب بر حجم کل سفارشات رسیده به دست می‌آید گواه آن است که میزان کیفیت ارائه شده در محصولات شرکت‌ها در حد استانداردهای جهانی نمی‌باشد لذا پیشنهاد می‌گردد شرکت‌ها در صورت امکان با سرمایه‌گذاری و ایجاد خطوط تولید مطابق تکنولوژی روز دنیا به تولید محصولاتی با قدرت موتور بالا و آلایندگی و مصرف سوختی در حد استانداردهای جهانی بپردازند.

از سوی دیگر با توجه به نوع کاربرد خودروهای دیزلی نیاز به قطعات یدکی با کیفیت بسیار ضروریست، تولید قطعات یدکی توسط شرکت‌های بزرگ خودروساز هم از بابت عدم وابستگی به گارگاه‌های کوچک جهت تأمین قطعات و هم ورود به حوزه بازار فروش قطعات یدکی می‌تواند یکی از راهکارهای مناسب جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری شرکت‌ها باشد. با توجه به بررسی‌ها و مستندات در اختیار و ماهیت صنعت خودروسازی تبریز، شاخص کلیدی ارزیابی عملکرد برای شروع و تدوین نقشه راه بهبود، اثربخشی برنامه‌ریزی اصلی تولید می‌باشد. از این رو پیشنهاد می‌گردد پایگاه داده‌ای در بخش تولید با موضوعیت سفارش، تأمین و تولید راه‌اندازی گردد.

#### ۴- منابع

- 1- Beamon, B. M. (1999). Measuring supply chain performance. *International journal of operations & production management*, 19(3), 275-292.
- 2- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- 3- Chen, Y., Liang, L., & Yang, F. (2006). A DEA game model approach to supply chain efficiency. *Annals of Operations Research*, 145(1), 5-13.
- 4- Easton, L., Murphy, D. J., & Pearson, J. N. (2002). Purchasing performance evaluation: with data envelopment analysis. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 8(3), 123-134.
- 5- Ebrahimnejad, A., Tavana, M., Lotfi, F. H., Shahverdi, R., & Yousefpour, M. (2014). A three-stage data envelopment analysis model with application to banking industry. *Measurement*, 49, 308-319.
- 6- Eftekhari, H. (2021). A Linear model for performance evaluation of decision making units with DEA in pharmaceutical companies in. *Management Joournal of Sharif univeruniversity*, 185, 430-431. [In Persian].
- 7- Estampe, D., Lamouri, S., Paris, J. L., & Brahim-Djelloul, S. (2013). A framework for analysing supply chain performance evaluation models. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 247-258.
- 8- Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International journal of production economics*, 87(3), 333-347.
- 9- Guo, P., & Tanaka, H. (2001). Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. *Fuzzy sets and systems*, 119(1), 149-160.
- 10- Jahanshahloo, Gh., Hassanzadeh Lotfi, F., Nikomaram, H. (2010). *Data Envelopment Analysis and Its Applications*. University of Science and Research Publications, [In Persian].

- 11- Xu, J., Li, B., & Wu, D. (2009). Rough data envelopment analysis and its application to supply chain performance evaluation. *International Journal of Production Economics*, 122(2), 628-638.
- 12- Mirhedayatian, S. M., Azadi, M., & Saen, R. F. (2014). A novel network data envelopment analysis model for evaluating green supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 147, 544-554.
- 13- Nahavandi, N., & Sharifinia, M. (2018). Designing A Model For Performance Evaluation And Ranking Of Insurance Companies By Integrated Bsc-Dea Method. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 33.1(2.2), 27-37. doi: 10.24200/j65.2018.5516.
- 14- Shafiee, M., Saleh, H., & Ghaderi, M. (2021). Benchmarking in the Supply Chain Using Data Envelopment Analysis and System Dynamics Simulations. *Iranian Journal of Supply Chain Management*, 23(70), 55-70.
- 15- Taheri, S. (2020). *Productivity analysis in organizations (inclusive productivity management)*. 28<sup>th</sup> Edition. Tehran: Hastan Fresh Air Publications. [In Persian].
- 16- Talluri, Srinivas & Narasimhan, Ram & Nair, Anand. (2016). Vendor performance with supply risk: a chance-constrained DEA approach. *International Journal of Production Economics*, 100 (2), 212–222.
- 17- Wong, W. P., & Wong, K. Y. (2007). Supply chain performance measurement system using DEA modeling. *Industrial management & data systems*, 212–222.
- 18- Xu, J., Li, B., & Wu, D. (2009). Rough data envelopment analysis and its application to supply chain performance evaluation. *International Journal of Production Economics*, 122(2), 628-638.

## Evaluation of Supply Chain Performance with BSC-FDEA and BSC-RDEA Methods (Case study: Five Diesel Engine Manufacturing Companies in Tabriz Automotive Industries)

**Sina Chartab Jabbari**

Ph.D Student, Department of Management, Management, Economic and Accounting Faculty, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

**Kamaleddin Rahmani Youshanloui** (Corresponding Author)

Assistant prof., Department of Management, Management, Economic and Accounting Faculty, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Email: kr13452000@yahoo.com

**Mohammad Paseban**

Assistant prof., Department of Management, Management, Economic and Accounting Faculty, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

**Yaghoub Alavi Matin**

Assistant prof., Department of Management, Management, Economic and Accounting Faculty, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

**Mojtaba Ramazani**

Assistant prof., Department of Management, Management, Economic and Accounting Faculty, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

### Abstract

Considering the importance of the issue of efficiency in the advancement of societies and the place it occupies in today's organizations, the use of performance evaluation has become an unavoidable necessity. Comparing the results of the RDEA-BSC and FDEA-BSC hybrid models in Tabriz automotive industry, this study aims to evaluate the five active supply chains with the same structure and the input and output data in the form of symmetric triangular fuzzy numbers. To do so, a set of uneven numbers were entered into the model and the output of the models shows the efficiency of Siba Motor, Azhatix, Rokhesh Khodro Diesel, Amico and Khodro Diesel of Azerbaijan. The Balanced Scorecard (BSC) method has been used as a tool for designing performance evaluation indicators, and the research has been conducted as an applied-descriptive study. The statistical population of the research is the managers and senior experts of the companies, and the Morgan table has been used to select the statistical sample of the research that is 92 people. FDEA, RDEA and BSC mathematical model and sensitivity analysis are analysis methods. The measurement tools are questionnaire and financial documents and information. The findings show that the efficiency of Amico Company is higher than other companies in each model.

**Keywords:** automotive industry, supply chain efficiency, data envelopment analysis, rough number set, fuzzy number set.