



Measuring Supply Chain Efficiency Using the RAM Model: Link Control by the Preceding Stage

Maryam Khodadadi *¹

1 Department of Mathematics, Ur.C., Islamic Azad University, Urmia, Iran.

khodadadi_20@iau.ac.ir

ABSTRACT

Received: 25 June 2025
Revised: 5 Aug 2025
Accepted: 15 Aug 2025
Available Online: 20 Sep

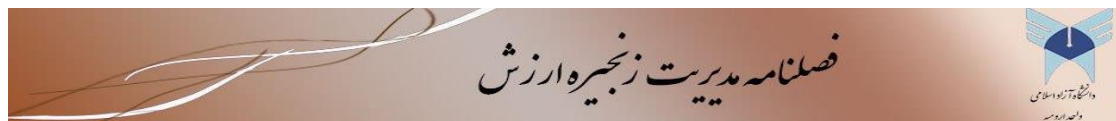
Article type: Research Paper
DOI:

In network structures, including supply chains, traditional Data Envelopment Analysis (DEA) models only use external inputs and final outputs to measure the performance of Decision-Making Units (DMUs), overlooking their internal operations. Consequently, these models cannot accurately pinpoint the source of inefficiency within the structures. The objective of this research is to present a new method for evaluating supply chain efficiency using the RAM model, in such a way that the role of intermediate products is also considered in the evaluation of overall efficiency and sub-unit efficiency, under the condition that the link is controlled by the previous section. In this method, the efficiency of each unit is determined simultaneously with the efficiency of its sub-units, making it possible to decompose the overall efficiency in terms of the sub-units' efficiencies. Therefore, the manager of each unit gains the ability to identify inefficient sub-units to improve the system's efficiency and make appropriate decisions to enhance the overall efficiency. Finally, to demonstrate the application of the proposed method, an example will be presented.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Supply Chain, RAM Model, Intermediate Products.

*Corresponding author: Maryam Khodadadi

E-mail address: khodadadi_20@iau.ac.ir



اندازه گیری کارایی زنجیره تامین با استفاده از مدل RAM: کنترل لینک توسط

بخش قبلی

مریم خدادادی*

۱. گروه ریاضی، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

khodadadi_20@iau.ac.ir

چکیده

در ساختارهای شبکه‌ای از جمله زنجیره تامین، مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، فقط از ورودی‌های خارجی و خروجی‌های نهایی در اندازه‌گیری عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) استفاده می‌کنند و عملیات داخلی آنها نادیده گرفته می‌شود. بنابراین، این مدل‌ها نمی‌توانند منبع ناکارآمدی درون ساختارها را به طور دقیق تعیین کنند. هدف از این پژوهش، بیان روشی جدید برای ارزیابی کارایی زنجیره تامین با استفاده از مدل RAM می‌باشد، به طوری که نقش محصولات میانی نیز در حالتی که کنترل لینک توسط بخش قبلی باشد در ارزیابی کارایی کل و کارایی زیر بخش‌ها در نظر گرفته شود. در این روش، کارایی هر واحد همزمان با کارایی زیر بخش‌ها مشخص می‌گردد و تجزیه کارایی کل بر حسب کارایی زیربخش‌ها امکان پذیر می‌گردد. لذا مدیر هر واحد، این امکان را پیدا می‌کند که برای بهبود کارایی سیستم مورد نظر زیر بخش‌های ناکارا را بشناسد و تصمیمات مناسب را جهت بهبود بخشی کارایی کل اتخاذ نماید. در انتها برای نشان دادن کاربرد روش ارائه شده، مثالی ارائه خواهد شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

مقاله علمی پژوهشی

واژگان کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، زنجیره تامین، مدل RAM، محصولات میانی

* نویسنده مسئول: مریم خدادادی

آدرس پست الکترونیک: khodadadi_20@iau.ac.ir

مقدمه

تحلیل پوششی داده ها یک روش ریاضی است که با استفاده از برنامه ریزی خطی کارایی نسبی مجموعه یی از واحد های تصمیم گیرنده ی مشابه را تعیین می کند. این مفهوم ابتدا توسط چارلز و همکاران (۱۹۷۸) تحت عنوان مدل CCR مطرح شد. روش سنتی تحلیل پوششی داده ها هیچ فرضی در زمینه عملیات داخلی واحد تصمیم گیرنده در نظر نمی گیرد بطوریکه عملیات داخلی آنرا تک فرآیندی (جعبه سیاه) در نظر می گیرد، که صرفا ورودی ها را در راستای تولید خروجی ها مصرف می کند. چنین نگرشی هیچ دیدی در زمینه منشا ناکارایی در داخل سیستم فراهم نمی کند و تنها آن را در ورودی ها و خروجی ها جستجو می کند. در نظر گرفتن عملیات داخلی یک سیستم در محاسبه ی کارایی به "روش تحلیل پوششی داده شبکه یی" شهرت دارد. برای ارزیابی عملکرد DMU ها به صورت شبکه ای، رویکردهای مختلفی در دو طیف پوششی و مضربی مطرح شدند. رویکرد استاندارد، توسط سیفورد و ژو (۱۹۹۹) و سکستون و لاوز در سال (۲۰۰۳) و تسولاس (۲۰۱۳) توسعه داده شدند. رویکرد رابطه ای یا تجزیه کارایی نیز توسط کائو و هوانگ (۲۰۱۰، ۲۰۰۸) چن و همکاران در سال (۲۰۱۰) و کائو در سال (۲۰۰۹) ارائه و توسعه داده شد. برخی از نویسندگان در مورد رویکرد افزایش بهروری به مطالعه پرداختند از جمله چن و ژو در سال (۲۰۰۴)، یو و لین در سال (۲۰۰۸)، لئو و لو در سال (۲۰۱۲). رویکرد تئوری بازی ها نیز توسط برخی از محققین از جمله چن و لیانگ و یانگ (۲۰۰۶) و ژو و همکاران (۲۰۱۳) بیان شد.

تون و تستسوی در سال (۲۰۰۹) یک مدل شبکه که برپایه مدل SBM پایه گذاری شده بود، ارائه دادند که این مدلها کارایی فرآیند ها و کارایی سراسری را اندازه گیری می کرد. آنها کارایی نسبی را بصورت میانگین وزنی هارمونیک از کارایی فرآیند ها ارائه دادند. ورودی ها و خروجیها ی تک تک فرآیند ها را شامل ورودی ها و خروجی های قابل کنترل و غیر قابل کنترل در نظر گرفتند. کائو (۲۰۰۹) به معرفی ساختار شبکه موازی و سری و ترکیبی پرداخت. او با معرفی فرآیند ها، کارایی سراسری را بصورت حاصل ضرب تک تک

فرآیند ها بیان کرد، همچنین کارایی موازی را براساس مفهوم اسلک (slack) کارایی تک تک فرآیند ها بیان کرد. کوک و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل شبکه را ارائه دادند که برای شبکه با ساختارهای خاصی بکار می رفت، بدین صورت که هر کدام از مراحل شامل چندین ورودی و خروجی می باشد که بعضی از ورودیها از مراحل قبل وارد فرآیند می شوند و بعضی از ورودی ها بصورت ورودی جدید وارد فرآیند می شوند.

آنها برای بدست آوردن کارایی، از مفهوم تجزیه کارایی استفاده کردند و کارایی سراسری را بصورت میانگین وزن دار شده ی کارایی تک تک فرآیند ها معرفی کردند. فوکویاما و میردهقان (۲۰۱۲) یک مدل دو مرحله ای را برای ارزیابی کارایی شبکه ارائه دادند. آنها نشان دادند که جواب بهین دگرین می تواند اشکالاتی داشته باشد، زیرا با یک جواب، فرآیند ها کارا و با یک جواب، مدل نشدنی می شود. لیو و همکاران (۲۰۲۵)، با ارائه مدل جدیدی از تحلیل پوششی داده ها بر انتخاب بهترین شریک برای زنجیره تامین دو مرحله ای از پیش تعریف شده برای ارزیابی عملکرد سیستم های مشارکتی پرداخت. اخیرا صداقت صیدآبادی و غلامیان (۱۴۰۳)، به استفاده از مدلی جدید به ارزیابی کارایی زنجیره تامین گروه زمزم پرداختند. در این مقاله کارایی DMU های سه مرحله ای با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده شبکه ای متمرکز تحلیل شد.

در مورد مشکلات محاسبه محصولات میانی در NDEA نویسندگان مختلفی همچون چن و همکاران (۲۰۱۴) رویکرد های متفاوتی ارائه دادند. اخیرا حسن زاده و همکاران (۲۰۱۹) هم به اندازه گیری کارایی ساختارهای شبکه در شرایط لینک پرداختند که مبتنی بر روش (SBM) می باشد و شش سناریو را که به کنترل لینک بین بخش های مرتبط در یک شبکه بود را بیان کردند. در این مقاله با استفاده از مدل RAM به ارزیابی کارایی زنجیره تامین که

دارای ساختار شبکه ای می باشد می پردازیم و کارایی کل را بر طبق کارایی زیر بخش ها تجربه خواهیم نمود.

ساختار این مقاله به گونه ای سازمان دهی شده است که در بخش دو مروری بر مدل RAM شده است و در بخش سه، مدل RAM در شبکه با توجه به مفاهیم کنترل لینک بررسی می شود و در بخش چهار یک مثال عددی برای مدل پیشنهادی ارائه شده و در بخش پنج نتیجه گیری خواهیم داشت.

مدل RAM

مدل جمعی در تحلیل پوششی داده ها، اسکالری به عنوان کارایی برای ارزیابی واحدها ارائه نمی دهد. برای رفع این مشکل کوپر و همکاران (۱۹۹۶)، راهکار تعدیل کردن وزن های ورودی ها و خروجی ها را به کار بردند و مدل اندازه تعدیل یافته ترتیبی یا همان RAM را ارائه نمودند که به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \tau_{RAM} &= \max \sum_{i=1}^m R_i^x s_i^- + \sum_{r=1}^s R_r^y s_r^+ \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{ik} \quad (i=1, \dots, m), \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{rk} \quad (r=1, \dots, s), \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \\ s_i^- &\geq 0, (i=1, \dots, m), s_r^+ \geq 0, (r=1, \dots, s). \end{aligned} \quad (1)$$

قیود این مدل همان قیود مدل جمعی می باشد، تنها تفاوت در تابع هدف آنهاست. در تابع هدف، مقادیر ثابت R_i^x ($i=1, \dots, m$) و R_r^y ($r=1, \dots, s$) که به ترتیب برای تعدیل وزن های ورودی i ام و خروجی r ام به کار می رود، به صورت زیر تعیین می شود:

$$R_i^x = \frac{1}{(m+s)(\bar{x}_i - \underline{x}_i)} \quad (i=1, \dots, m) \quad (2)$$

$$R_r^y = \frac{1}{(m+s)(\bar{y}_r - \underline{y}_r)} \quad (r=1, \dots, s)$$

که

$$\underline{y}_r = \min_j y_{rj} \quad \bar{y}_r = \max_j y_{rj} \quad , \quad \underline{x}_i = \min_j x_{ij} \quad , \quad \bar{x}_i = \max_j x_{ij} \quad (3)$$

نمره کارایی در مدل RAM، با کم کردن مقدار تابع هدف از عدد یک به دست می آید.

$$\Gamma_{RAM} = 1 - \left(\sum_{i=1}^m R_i^x s_i^{-*} + \sum_{r=1}^s R_r^y s_r^{+*} \right) \quad (4)$$

قضیه ۱: $0 \leq \Gamma_{RAM} \leq 1$.

توسیع مدل RAM برای سناریو کنترل لینک توسط بخش قبلی

در این سناریو مقدار لینک توسط بخش قبلی تعیین می شود و بخش بعدی هیچ نقشی در تعیین مقدار لینک ندارد. بنابراین لینک نقش خروجی تحت کنترل بخش قبلی را بازی می کند. (فرض پیوستگی بین ارسال و دریافت مقدار لینک برقرار می باشد) در این سناریو مجموعه امکان تولید و مدل کارایی شبکه و بخش ها به صورت زیر می باشد. مجموعه امکان تولید:

$$pps^1 = \{ (x^k, y^k, z^{(k,h)}) \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j^k x_j^k \leq x^k, \sum_{j=1}^n \lambda_j^k y_j^k \geq y^k, \sum_{j=1}^n z_j^{(k,h)} \lambda_j^k = \sum_{j=1}^n z_j^{(k,h)} \lambda_j^h \geq z^{(k,h)}, \sum_{j=1}^n \lambda_j^k = 1, \lambda_j^k \geq 0, \forall k \} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{k=1}^K w_k \left(\sum_{i=1}^{m^k} R_i^x s_i^{k-} + \sum_{r=1}^{r^k} R_r^y s_r^{k+} + \sum_{l=1}^{\tau^{(k,h)}} R_l^z s_{lz}^{k++} \right) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij}^k \lambda_j^k = x_{io}^k - s_i^{k-}, i=1,2,\dots,m^k, k=1,\dots,K \\
 & \sum_{j=1}^n y_{rj}^k \lambda_j^k = y_{ro}^k + s_r^{k+}, r=1,2,\dots,r^k, k=1,\dots,K \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j^k z_{lj}^{(k,h)} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^h z_{lj}^{(k,h)} = z_{lo}^{(k,h)} + s_{lz}^{k++}, l=1,2,\dots,\tau^{(k,h)}, k=1,\dots,K \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j^k = 1, \lambda_j^k \geq 0, \forall i, j, l, k, \\
 & (i=1,2,\dots,m^k), (r=1,2,\dots,s)(l=1,2,\dots,L).
 \end{aligned} \tag{۶}$$

که در این مدل

$$\begin{aligned}
 R_i^x &= \frac{1}{(m^k + r^k + \tau^{(k,h)})(\bar{x}_i^k - \underline{x}_i^k)}, \quad i=1,2,\dots,m^k, k=1,\dots,K \\
 R_r^y &= \frac{1}{(m^k + r^k + \tau^{(k,h)})(\bar{y}_r^k - \underline{y}_r^k)}, \quad r=1,2,\dots,r^k, k=1,\dots,K \\
 R_l^z &= \frac{1}{(m^k + r^k + \tau^{(k,h)})(\bar{z}_l^k - \underline{z}_l^k)}, \quad l=1,2,\dots,\tau^{(k,h)}, k=1,\dots,K \\
 \bar{x}_i^k &= \max\{x_{ij}^k, j=1,2,\dots,n\}, \quad \underline{x}_i^k = \min\{x_{ij}^k, j=1,2,\dots,n\}, \\
 \bar{y}_r^k &= \max\{y_{rj}^k, j=1,\dots,n\}, \quad \underline{y}_r^k = \min\{y_{rj}^k, j=1,2,\dots,n\}, \\
 \bar{z}_l^k &= \max\{z_{lj}^k, j=1,2,\dots,n\}, \quad \underline{z}_l^k = \min\{z_{lj}^k, j=1,2,\dots,n\}.
 \end{aligned} \tag{۸}$$

می باشد. کارایی کل هر واحد تصمیم گیرنده از رابطه (۹) به دست می آید. که * نشان دهنده اسلک های بهینه می باشد.

$$T_{RAM} = 1 - \sum_{k=1}^K w_k \left(\sum_{i=1}^{m^k} R_i^x s_i^{-*} + \sum_{r=1}^{r^k} R_r^y s_r^{+*} + \sum_{l=1}^{\tau^{(k,h)}} R_l^z s_l^{+*} \right) \tag{۹}$$

که در آن w_k ها وزن های مثبتی هستند که توسط مدیر تعیین می گردد و مجموع آن ها یک می باشد.

$$\sum_{k=1}^k w_k = 1 \quad (10)$$

و کارایی هر کدام از زیر بخش ها از رابطه زیر به دست می آید.

$$T_{RAM} = 1 - \left(\sum_{i=1}^{m^k} R_i^x s_i^{-*} + \sum_{r=1}^{r^k} R_r^y s_r^{+*} + \sum_{l=1}^{\tau^{(k,h)}} R_l^z s_l^{+*} \right) \quad (11)$$

ملاحظه می شود که کارایی کل برابر با مجموع وزن دار شده کارایی زیر بخش ها می باشد.

قضیه ۲: مدل (۶) همواره شدنی است:

اثبات: به راحتی می توان دید که بردار $(s^{k-}, s^{k+}, s^{k++}, \lambda) = (0, 0, 0, e_o)$ که در آن $e_o = (0, \dots, 1, \dots, 0)^t$ و ۱ در مکان ۰ می باشد، یک جواب شدنی برای مدل (۶) می باشد.

قضیه ۲: در هر جواب شدنی مدل (۶)، همواره $0 \leq T_{RAM} \leq 1$ است.

اثبات: به ازای هر جواب شدنی در مدل (۶) و طبق قید تحدب می دانیم که

$$\min\{x_{ij}^k | j=1, \dots, n\} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^k x_{ij}^k, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^k y_{ij}^k \leq \max\{y_{ij}^k | j=1, \dots, n\} \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^k z_{ij}^k \leq \max\{z_{ij}^{(k,h)} | j=1, \dots, n\}$$

داریم:

(۱۳)

$$s_i^{k-} = x_{io}^k - \sum_{j=1}^n \lambda_j^k x_{ij}^k, s_r^{k+} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^k y_{rj}^k - y_{ro}^k, s_l^{k++} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^k z_{lj}^{(k,h)} - z_{lj}^{(k,h)},$$

و همچنین با فرض روابط زیر که نشان دهنده میزان محدوده مجاز برای تغییر ورودی ها و خروجی ها می باشد

$$L_i^k = \bar{x}_i^k - \underline{x}_i^k, U_r^k = \bar{y}_r^k - \underline{y}_r^k, \bar{U}_l^k = \bar{z}_l^k - \underline{z}_l^k \quad (14)$$

روابط زیر نتیجه می شود که:

$$\begin{aligned} s_i^{k-} &\leq L_{io}^k \\ s_r^{k+} &\leq U_{ro}^k \\ s_l^{k++} &\leq \bar{U}_{lo}^k \end{aligned} \quad (15)$$

و لذا داریم :

$$\begin{aligned} 0 \leq \sum_{i=1}^{m^k} \frac{s_i^{k+}}{L_{io}^k} \leq m^k, \quad 0 \leq \sum_{r=1}^{r^k} \frac{s_r^{k+}}{U_{ro}^k} \leq r^k, \quad 0 \leq \sum_{l=1}^{m^k} \frac{s_l^{k++}}{\bar{U}_{lo}^k} \leq \tau^{(k,h)}, \\ 0 \leq \sum_{i=1}^{m^k} \frac{s_i^{k+}}{L_{io}^k} + \sum_{r=1}^{r^k} \frac{s_r^{k+}}{U_{ro}^k} + \sum_{l=1}^{m^k} \frac{s_l^{k++}}{\bar{U}_{lo}^k} \leq m^k + r^k + \tau^{(k,h)}, \end{aligned} \quad (16)$$

$$.0 \leq \left(\sum_{i=1}^{m^k} R_i^x s_i^{*-} + \sum_{r=1}^{r^k} R_r^y s_r^{+*} + \sum_{l=1}^{\tau^{(k,h)}} R_l^z s_l^{+*} \right) \leq 1 \quad (17)$$

مثال:

برای نشان دادن کاربرد روش ارائه شده یک مثال فرضی در نظر می گیریم که پنج واحد تصمیم گیری دارد و دارای یک ساختار دو مرحله یی می باشد که شامل یک ورودی و یک

محصول میانی و یک خروجی می باشد. در این مثال وزن های $w^1, w^2 = 0.5$ در نظر گرفته شده است. جدول یک، داده های مربوط به پنج واحد تصمیم گیرنده را نشان می دهد.

جدول ۱: ورودی، خروجی و مقادیر لینک برای شش واحد تصمیم گیرنده

DMU	X	Z	Y
A	1.5	1	1
B	2	2.5	3
C	4	6	4
D	4.5	3.5	2
E	4.5	5	2

جدول ۲، کارایی و نقطه تصویر به دست آمده از مدل (۶) را نشان می دهد که با استفاده برنامه گمز حل شده است. در این مثال کارایی کل به صورت زیر بر طبق کارایی زیر بخش ها تجزیه شده است:

$$(۱۸) \quad (\text{دوم کارایی مرحله}) * 0.5 + (\text{کارایی مرحله اول}) * 0.5 = \text{کارایی کل}$$

جدول ۲: کارایی کل و کارایی زیر بخش ها در سناریو یک

DMU	کارایی کل	کارایی بخش ها		نقطه تصویر		
		مرحله اول	مرحله دوم	x	z	y
A	۰,۸۵	۱	۰,۷	۱,۵	۱	۴
B	۰,۸۵	۱	۰,۷	۲	۲,۵	۴
C	۱	۱	۱	۴	۶	۴
D	۰,۷۰	۰,۷۱	۰,۶۹	۴	۶	۴
E	۰,۷۰	۰,۷۱	۰,۶۹	۴	۶	۴

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که وقتی مدیریت محصولات میانی توسط مرحله قبلی اتفاق بیفتد، واحد C در زیر بخش‌ها عملکرد مطلوبی به دست خواهد آورد و لذا هم در ارزیابی کل و هم ارزیابی زیر بخش‌ها کارا می‌باشد. واحدهای D و E در زیر بخش‌ها ناکارا می‌باشند و نیازمند برنامه ریزی دقیق برای افزایش کارایی در زیر بخش‌ها و بطبع آن در کارایی کل می‌باشند. واحدهای A و B در مرحله اول عملکرد مطلوبی داشته‌اند ولی در مرحله دوم ناکارا عمل نموده‌اند لذا برای بهبود کارایی کل نیازمند برنامه ریزی دقیق‌تر برای افزایش کارایی در مرحله دوم می‌باشند. در جدول دو کارایی کل از فرمول (۱۸) با استفاده از کارایی زیر بخش‌ها به دست آمده است. و نشان می‌دهد که تا زیر بخش‌ها کارا نباشند در کارایی کل نیز ناکارایی خواهیم داشت، لذا برای افزایش کارایی کل ابتدا باید کارایی زیر بخش‌ها را ارتقا داد. نقاط تصویر نشان داده شده در جدول دو، نشان می‌دهد که هر واحد با بهبود عملکرد خود به چه هدفی باید برسد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی جدید بر طبق مدل RAM برای ارزیابی زنجیره تامین با در نظر گرفتن مدیریت لینک‌های میانی توسط مرحله قبلی ارائه گردید. مدل ارائه شده دارای مزیتی می‌باشد که بر طبق آن می‌توان کارایی کل را بر طبق کارایی زیر بخش‌ها تجزیه نمود و دقیقاً مشخص کرد که منشأ ناکارایی احتمالی در هر زنجیره تامین مربوط به کدام زیر بخش می‌باشد. این مزیت به مدیر کمک می‌کند که هر بخش بتواند تصمیمات مناسب را جهت بهبود بخشی، کارایی کل اتخاذ نماید. قضایای مربوط به مدل ارائه شده نیز بیان و اثبات گردید. در انتها مثالی برای نشان دادن کاربرد مدل ارائه شده بیان گردید.

References

- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *Eur J Oper Res*, 2, 429-444.
- Chen, Y., Cook, W. D., Kao, C., & Zhu, J. (2014). Network DEA pitfalls: Divisional efficiency and frontier projection. In *Data Envelopment Analysis: A Handbook on the Modeling of Internal Structures and Networks* (pp. 31-54). Boston, MA: Springer US.

- Chen, Y., Cook, W. D., & Zhu, J. (2010). Deriving the DEA frontier for two-stage processes. *European journal of operational research*, 202(1), 138-142.
- Chen, Y., Liang, L., & Yang, F. (2006). A DEA game model approach to supply chain efficiency. *Annals of Operations Research*, 145(1), 5-13.
- Chen, Y., & Zhu, J. (2004). Measuring information technology's indirect impact on firm performance. *Information Technology and Management*, 59-22.
- Cook, W. D., Liang, L., & Zhu, J. (2010). Measuring performance of two-stage network structures by DEA: A review and future perspective. *Omega*, 38, 423-430.
- Cooper, W.W., Park, K.S., Pastor, J.T., (1996). RAM: a range adjusted measure of inefficiency for use with additive models and relations to other models and measures in DEA. *Journal of productivity Analysis*, 11, 5-42.
- Fukuyama, H., & Mirdehghan, S. M. (2012). Identifying the efficiency status in network DEA. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 85-92.
- Hassanzadeh, A., & Mostafaei, A. (2019). Measuring the efficiency of network structures: Link control approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 437-446.
- Kao, C. (2009). Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 19, 1107-1112.
- Kao, C., & Hwang, S. N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European journal of operational research*, 185(1), 418-429.
- Kao, C., & Hwang, S. N. (2010). Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance. *Decision support systems*, 48(3), 437-446.
- Liu, J. S., & Lu, W. M. (2012). Network-based method for ranking of efficient units in two-stage DEA models. *Journal of the Operational Research Society*, 63(8), 1153-1164.
- Liu, L., Ang, S., Yang, F., & Zhang, X. (2025). Partner selection for supply chain collaboration: New data envelopment analysis models. *Omega*, 132, 103245.
- Sedaghat Marzieh, Gholamian Mohammad Reza. Presenting a centralized data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of Zamzam Group's supply chain. *Operations Research and Its Applications*. 2024; 21 (1): 107-125. (In Persian)
- Seiford & Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *Management science*, 45(9), 1270-1288.
- Sexton, T. R., & Lewis, H. F. (2003). Two-stage DEA: An application to major league baseball. *Journal of productivity analysis*, 19(2), 227-249.

- Tsolas, I. E. (2013). Modeling profitability and stock market performance of listed construction firms on the Athens Exchange: Two-stage DEA approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 111-119.
- Tone, K., & Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slacks-based measure approach. *European journal of operational research*, 197(1), 243-252.
- Yu, M. M., & Lin, E. T. (2008). Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model. *Omega*, 36(6), 1005-1017.
- Zhou, Z., Sun, L., Yang, W., Liu, W., & Ma, C. (2013). A bargaining game model for efficiency decomposition in the centralized model of two-stage systems. *Computers & Industrial Engineering*, 64(1), 103-108.