

# ارائه یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین با تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان کارا

هاشم عمرانی<sup>۱\*</sup>، فرزانه ادبی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۲. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت ۹۳/۶/۲۳ - تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۵/۲/۱۴ - تاریخ تصویب ۹۵/۹/۱۳)

## چکیده

یکی از تصمیمات مهم در طراحی شبکه زنجیره تأمین، انتخاب مکان بهینه برای تسهیلات است. تسهیلات زنجیره تأمین اعم از تولیدکننده و توزیع‌کننده بسته به موقعیت مکان کارایی‌های متفاوتی دارد. در این پژوهش، موضوع کارایی تسهیلات از طریق مدل تحلیل پوششی داده‌ها به طراحی شبکه زنجیره تأمین اضافه می‌شود و یک مدل چندهدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین کارا ارائه می‌شود. مدل پیشنهادی مناسب‌ترین مکان را برای کارخانجات و توزیع‌کنندگان انتخاب می‌کند و از این طریق هم‌زمان هزینه کل زنجیره تأمین را کاهش و کارایی را افزایش می‌دهد. زنجیره تأمین مورد مطالعه شامل چندین محصول و چندین ماده اولیه با چهار لایه تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان می‌شود. مدل پیشنهادی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان را مکان‌یابی می‌کند و میزان خرید از هر تأمین‌کننده را برنامه‌ریزی می‌کند. بررسی نتایج حل مثال عددی نشان می‌دهد اضافه کردن کارایی موجب ارتقای مدل زنجیره می‌شود. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن تبادل بین توابع هزینه و کارایی، طراحی شبکه زنجیره تأمین با تسهیلات کارا بهتر از حالتی است که کارایی هیچ اهمیتی نداشته باشد و شبکه فقط بر مبنای کاهش هزینه‌ها طراحی شود.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه‌ریزی چندهدفه، تحلیل پوششی داده‌ها، طراحی شبکه زنجیره تأمین، کارایی

## مقدمه

لایه ثابت هر زنجیره تأمین هستند و به همین علت در بعضی از تحقیقات در شمارش تعداد لایه‌های زنجیره به حساب نیامده‌اند؛ برای مثال، ملو و داگاما [۴] زنجیره تأمین چنددوره‌ای چندمحصوله طراحی کرده‌اند که در آن تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان مکان‌یابی می‌شوند. همچنین ملو و همکاران [۵] زنجیره تأمین چندلایه چنددوره‌ای طراحی نموده‌اند. کوریا و همکاران [۶] نیز زنجیره تأمین چنددوره‌ای را با سه لایه تولیدکننده سطح ۱ و ۲ و مشتری طراحی کرده‌اند که مکان بهینه تولیدکنندگان سطح ۱ و ۲ را پیدا می‌کند. همچنین، مدل ارائه شده در هر سطح تولیدکننده، یک توزیع‌کننده در مکان  $i$  برای هر خانواده محصول در نظر گرفته است. این مدل شامل چندین خانواده محصول و چندین زیر محصول برای هر خانواده محصول است.

در سال‌های اخیر، محققان و پژوهشگران به مدیریت

زنجیره تأمین مجموعه‌ای از تمام نهادهای کسب‌وکار است که با هم کار می‌کنند تا اطمینان حاصل شود مشتری محصول یا خدمت را در زمان مناسب، با کیفیت مطلوب و با هزینه کم دریافت می‌کند. مدیریت زنجیره تأمین، این نهادها را با یکدیگر هماهنگ می‌کند. شبکه زنجیره تأمین نهادهای کسب‌وکار را به صورت مناسب انتخاب می‌کند که موجب افزایش عملکرد کلی زنجیره تأمین می‌شود [۱].

زمینه‌های کاربردی زنجیره تأمین در هفت دسته قرار دارند که عبارت‌اند از [۲]: ۱. طراحی شبکه، ۲. فناوری اطلاعات، ۳. حمل‌ونقل، ۴. توزیع و ذخیره‌سازی، ۵. انبارداری، ۶. جابه‌جایی مواد، بارگیری و تخلیه، ۷. بسته‌بندی و دوباره بسته‌بندی.

یک زنجیره تأمین ممکن است شامل لایه‌های متفاوتی همچون مشتری، خرده‌فروش، توزیع‌کننده (عمده‌فروش)، تولیدکننده و تأمین‌کننده مواد اولیه باشد [۳]. مشتریان

درمان ضربه مغزی توسعه داده و به همین منظور، مدل عدد صحیح مختلط چندهدفه پیشنهاد کرده اند که محل بهینه تجهیزات را براساس کمینه کردن هزینه‌های مراقبت و سطح و میزان مراقبت معین می‌کند. مدل پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی آنیل حل شده است.

آلتیپارماک و همکاران [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی برای طراحی زنجیره تأمین (تک محصول، تک ماده اولیه، تک دوره‌ای) با چهار لایه تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری معرفی کرده اند. در این مدل، با در نظر گرفتن فرض رضایت مشتری، تولیدکننده و توزیع‌کننده مکان‌یابی شده است. در این مدل، سه تابع هدف کمینه‌سازی کل هزینه شبکه زنجیره تأمین، بیشینه‌سازی خدمات به مشتریان و تعادل ظرفیت بهره‌برداری مطرح شده و مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است. در تحقیقی دیگر، آلتیپارماک و همکاران [۱۸] برنامه‌ریزی میزان خرید از هر تأمین‌کننده را نیز به مدل پیشنهادی آلتیپارماک و همکاران [۱۷] اضافه کرده اند. صحرائیان و همکاران [۱۹] با فرض چند محصول و چند ماده اولیه، زنجیره تأمین ارائه شده از سوی آلتیپارماک و همکاران [۱۷] را ارتقا داده اند. بشیری و همکاران [۲۰] نیز با استفاده از مدل‌های یادشده مدلی جامع از زنجیره تأمین طراحی کرده اند. در این پژوهش از مدل پیشنهادی بشیری و همکاران [۲۰] به‌عنوان مدل اولیه استفاده شده است.

تحقیقات بسیاری برای توسعه زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت صورت گرفته است؛ برای نمونه، جوجیادیس و همکاران [۲۱] یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین معرفی نموده اند. این زنجیره شامل چهار لایه است که در چند دوره زمانی با تقاضای غیرقطعی طرح شده است. همچنین، محققان برای پیاده‌سازی شرایط عدم قطعیت از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند؛ برای مثال، بقالیان و همکاران [۲۲]، میرزایی و همکاران [۲۳] و پیشوایی و همکاران [۲۴] از روش بهینه‌سازی استوار و پیشوایی و ترابی [۲۵] و پیشوایی و همکاران [۲۶] از رویکرد فازی استفاده نموده‌اند. بیشتر مطالعات صورت‌گرفته در مورد کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در زمینه زنجیره تأمین، بر ارزیابی

زنجیره تأمین توجه بسیاری داشته‌اند؛ برای مثال، سولو [۷] یک مدل یکپارچه‌سازی مدیریت زنجیره تأمین ارائه کرده است. کاستیلو ویلار و همکاران [۱] مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چندمرحله‌ای را با در نظر گرفتن هزینه کیفیت توسعه داده اند. همچنین پن و نقی [۸] یک مدل شبکه زنجیره تأمین برای سیستم تولید چابک طراحی نموده اند. ملو و همکاران [۵] پژوهش‌های مرتبط با مکان‌یابی در زنجیره تأمین را به‌طور کامل مرور کرده اند. همچنین، سورینگ [۹] چکیده‌ای از روش‌های مدل‌سازی مدیریت زنجیره تأمین پایدار گردآوری کرده و مدل‌های کمی برای زنجیره تأمین رو به جلو بررسی نموده است. تانگ و نورمایا موسی [۱۰] تحقیقات صورت‌گرفته در راستای مدیریت ریسک زنجیره تأمین را جمع‌آوری کرده اند. مینر [۱۱] مدل‌های موجودی با گزینه‌های متعدد تأمین‌کننده و نقش تأمین‌کنندگان در مدیریت زنجیره تأمین مرور نموده است. علاوه بر این، وی مسائل مربوط به موجودی در زمینه‌های لجستیک معکوس و سیستم‌های چندلایه را ارائه داده است. سارکیس و همکاران [۱۲] ادبیات مدیریت زنجیره تأمین سبز را بررسی کرده و تحقیقات صورت‌گرفته در این زمینه را به نه دسته تقسیم کرده اند. در تحقیق دیگری، مدل‌های تصمیم‌گیری در طراحی زنجیره تأمین بررسی شده و تناسب بین تحقیقات صورت‌گرفته و مسائل عملی جهانی در این زمینه بررسی شده است [۱۳].

محققان برای حل مدل‌های زنجیره تأمین از رویکردهای مختلفی بهره جسته‌اند. گان و همکاران [۱۴] یک شبکه زنجیره تأمین دو لایه ارائه نموده اند که با آزادسازی هزینه‌های ثابت و اضافه کردن چند گره و چند بردار مجازی مکانیزمی برای حل طراحی شده است. این مکانیزم مدل را از حالت NP-Hard به حالت قابل حل با استفاده از مسئله جریان شبکه تبدیل می‌سازد. خو و نوزیک [۱۵] یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای برای مقابله با یکی از شایع‌ترین اختلالات در زنجیره تأمین یعنی کمبود ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان طراحی کرده اند. این مدل روابط کمی تأثیرگذار بین هزینه‌ها و اختلالات را بررسی می‌کند. سیام و کوه [۱۶] مدلی را برای مکان‌یابی و تخصیص خدمات بهداشتی غیرانتفاعی تخصصی مانند

ارزیابی راه‌آهن به کار رفته است [۳۱]. تحقیقات بسیاری نیز مانند کلیمبرگ و رتیک [۳۱] و محب‌علیزاده و همکاران [۳۲] در راستای مکان‌یابی تسهیلات با فرض بیشینه‌سازی کارایی آن‌ها صورت گرفته است و این نشان‌دهنده ضرورت در نظر گرفتن کارایی تسهیلات و میزان تأثیر آن است.

در این تحقیق، مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین و مدل DEA با یکدیگر تلفیق می‌شوند تا یک زنجیره تأمین کارا طراحی شود. در این زنجیره تأمین مناسب‌ترین مکان برای کارخانه‌ها و توزیع‌کنندگان انتخاب می‌شود تا به این ترتیب هم‌زمان هزینه کل زنجیره تأمین کاهش و کارایی افزایش یابد.

در بخش روش تحقیق، مدل اولیه طراحی زنجیره تأمین و مفاهیم و نحوه مدل کردن کارایی و همچنین مدل پیشنهادی مطرح می‌شود. در بخش نتایج محاسباتی یک مثال عددی حل و تحلیل می‌شود. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی مطرح می‌شوند.

### روش تحقیق

تصمیمات مدیریت زنجیره تأمین شامل سه سطح راهبردی (تصمیمات بلندمدت)، سطح تاکتیکی (تصمیمات میان‌مدت) و سطح عملیاتی (تصمیمات روزانه) می‌شود [۳۳]. یکی از مهم‌ترین تصمیمات راهبردی در همان مراحل اولیه شکل‌گیری زنجیره، طراحی شبکه زنجیره تأمین است که مشخص می‌کند چگونه سازمان‌ها در قالب شبکه‌ای با یکدیگر یکپارچه شوند. طراحی زنجیره تأمین، ساختار شبکه زنجیره را تعیین می‌کند که این ساختار تأثیر مهمی بر کارایی، انعطاف‌پذیری، هزینه‌ها و قابلیت رقابت‌پذیری شرکت دارد [۳۴]. یک طراحی خوب شبکه زنجیره تأمین برای افزایش کارایی شرکت‌ها الزامی است [۴]. پارامترها و متغیرهای استفاده‌شده در این پژوهش عبارت‌اند از:

شبکه زنجیره تأمین متمرکز بوده است؛ برای نمونه، توانا و همکاران [۲۷]، پارمیگیانی و همکاران [۲۸] و شفیع‌ی و همکاران [۲۹] عملکرد شبکه زنجیره تأمین را بر مبنای مدل DEA ارزیابی نموده‌اند و تأثیر کارایی تسهیلات را در فاز طراحی شبکه بررسی نکرده‌اند. درحقیقت، تاکنون تحقیق ویژه‌ای در زمینه طراحی زنجیره تأمین با فرض در نظر گرفتن کارایی برای تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان صورت نگرفته است و این خلأ در گستره علم زنجیره تأمین و لجستیک وجود دارد.

کارایی تسهیلات زنجیره تأمین براساس مکان آن‌ها متفاوت است. هر تسهیل در یک منطقه با شرایط اجتماعی، جغرافیایی و دولتی متفاوتی مواجه است که بر کارایی آن تسهیل تأثیر می‌گذارد. کارایی تسهیلات با توجه به متغیرهای ورودی و خروجی محاسبه می‌شود که لزوماً با یکدیگر هم‌واحد نیستند؛ برای مثال، می‌توان مقررات ویژه دولتی (حداکثر میزان استفاده از منابع و حداکثر میزان قابل قبول رهاسازی آلاینده‌ها)، شرایط آب‌وهوایی (برودت یا گرمای شدید)، میزان جمعیت منطقه و سطح تحصیلات آن‌ها از تولیدکننده یا توزیع‌کننده را پارامترهای ورودی برای محاسبه کارایی منطقه بالقوه برای تأسیس در نظر گرفت. همچنین، می‌توان میزان حمایت و مصرف‌گرایی مردم منطقه، حمایت دولت (کمک‌های دولت برای مناطق محروم) و دستیابی به متخصصان مجرب برای تولید کالای باکیفیت را خروجی آن منطقه فرض کرد. البته متناسب با محصول زنجیره تأمین و نوع تسهیل، ورودی و خروجی متفاوتی برای تسهیلات تعریف می‌شود.

از زمان انتشار تحقیق چارنر و همکاران [۳۰]، تحقیقات نظری و عملی بسیاری در زمینه‌های مختلف با استفاده از DEA ارائه شده است. DEA در بسیاری از زمینه‌ها از جمله خدمات درمانی، عملیات نظامی، دادگاه‌های جنایی، بخش‌های دانشگاهی، بانک‌ها، شرکت‌های برق و عملیات معدن کاری، بهره‌وری ساخت و

### پارامترها:

I

مجموعه مشتریان

J

مجموعه مراکز توزیع (انبار)

K

مجموعه کارخانه‌ها

$L$	مجموعه محصولات
$R$	مجموعه مواد اولیه
$V$	مجموعه تأمین کنندگان
$N$	مجموعه شاخص‌های خروجی
$H$	مجموعه شاخص‌های ورودی
	هزینه ثابت سالانه برای تأسیس توزیع کننده $J$
	هزینه ثابت سالانه برای تأسیس کارخانه $k$
$c_j'$	هزینه نگهداری واحد محصول $I$ در توزیع کننده $J$ ام
$c_k''$	هزینه واحد تولید محصول $I$ در کارخانه $k$
	هزینه واحد حمل و خرید ماده اولیه $r$ از تأمین کننده $v$ به کارخانه $k$
	هزینه واحد حمل محصول $I$ از کارخانه $k$ به توزیع کننده $J$ و از توزیع کننده $J$ به مشتری $i$
$v_{jl}'$	میزان تقاضای مشتری $i$ برای محصول $I$
$v_{lk}''$	توان عملیاتی توزیع کننده (انبار) $J$ (برای مثال فضای انبارش و...)
$t_{vkr}$	ظرفیت تولید کارخانه $k$ (برای مثال میزان بودجه، تجهیزات، نیروی انسانی و...)
$t_{ijkl}'$	ظرفیت تأمین کننده $v$ برای تأمین ماده اولیه $r$
$a_{il}$	میزان استفاده ماده اولیه $r$ در واحد محصول $I$
$w_j$	میزان استفاده واحد محصول $I$ از ظرفیت تولیدی کارخانه
$D_{vr}^k$	میزان استفاده واحد محصول $I$ از توان عملیاتی توزیع کننده
$W_{rl}'$	حداکثر تعداد توزیع کنندگان مجاز برای تأسیس
$P_{ul}''$	حداکثر تعداد کارخانه‌های مجاز برای تأسیس
$u_l''$	مقدار $n$ امین خروجی توزیع کننده $J$
	مقدار $h$ امین ورودی توزیع کننده $J$
	مقدار $n$ امین خروجی کارخانه $k$
	مقدار $h$ امین ورودی کارخانه $k$
	متغیرهای تصمیم:
$z_{jO_{kn}}'$	اگر در مکان $J$ توزیع کننده تأسیس شود مقدار $1$ و در غیر این صورت $0$ خواهد بود.
$p_k J_{kh}'$	اگر در مکان $k$ کارخانه تأسیس شود مقدار $1$ و در غیر این صورت $0$ خواهد بود.
$y_{ij}$	اگر توزیع کننده $J$ تقاضای مشتری $i$ را پاسخ دهد مقدار $1$ و در غیر این صورت $0$ خواهد بود.

$q_{vkr}$	مقدار ماده اولیه $r$ که از تأمین‌کننده $v$ به کارخانه $k$ فرستاده می‌شود.
$q_{ijkl}$	مقدار محصول $l$ که از کارخانه $k$ از سوی توزیع‌کننده $j$ به مشتری $i$ فرستاده می‌شود.
$1-d_k$	معادل صورت کسر کارایی است؛ به عبارت دیگر، مجموع موزون خروجی کارخانه $k$
$f_{kh}$	ضریب وزنی ورودی $h$ برای کارخانه $k$
$g_{kn}$	ضریب وزنی خروجی $n$ برای کارخانه $k$
$1-d_j$	معادل صورت کسر کارایی است؛ به عبارت دیگر، مجموع موزون خروجی توزیع‌کننده $j$
$f_{jh}$	ضریب وزنی ورودی $h$ برای توزیع‌کننده $j$
$g_{jn}$	ضریب وزنی خروجی $n$ برای توزیع‌کننده $j$

۳. این زنجیره تأمین تک‌دوره‌ای است و به برنامه‌ریزی تولید و چرخه فروش چند محصول می‌پردازد که هر محصول برای تولید به چند ماده اولیه نیاز دارد.
  ۴. زنجیره رو به جلو است و امکان بازگشت، بازسازی یا دورریز محصول وجود ندارد.
  ۵. پارامترهای مسئله موجود است و مدل برای شرایط قطعیت و اطمینان کامل طراحی شده است.
  ۶. ظرفیت تسهیلات محدود است و حداکثر میزان معین دارند.
  ۷. هریک از تسهیلات هزینه ثابت سالانه و هزینه متغیر نسبت به واحد محصول دارند.
- مدل زنجیره تأمین مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر است:

### طراحی زنجیره تأمین

- در این پژوهش از مدل پیشنهادی بشیری و همکاران [۲۰] به‌عنوان مدل اولیه طراحی استفاده شده است. در این مدل فرض شده است زنجیره تأمین شرایط و خصوصیات زیر را دارد. این فرضیات به‌منظور پیاده‌سازی یک مثال از زنجیره تأمین است و شرایطی مانند پارامترهای قطعی و تک‌دوره‌ای بودن، به‌منظور سهولت حل و بررسی نتایج است.
۱. زنجیره تأمین مفروض شامل چهار لایه تأمین‌کننده، تولیدکننده، انبار (توزیع‌کننده یا عمده فروش) و مشتری است.
  ۲. مدل پیشنهادی، مکان بهینه تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان را پیدا می‌کند و همچنین میزان خرید از هر تأمین‌کننده را نیز مشخص می‌کند.

$$\min z = \sum_j c_j z_j + \sum_k c_k p_k + \sum_i \sum_j \sum_l v_{jl} a_{il} y_{ij} + \sum_i \sum_j \sum_l \sum_k v_{ik} q_{ijkl} + \sum_v \sum_k \sum_r t_{vkr} q_{vkr} + \sum_i \sum_l \sum_k \sum_j t_{ijkl} q_{ijkl} \quad (1)$$

$$\sum_j y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_l u_l a_{il} y_{ij} \leq w_j z_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_j z_j \leq W \quad (4)$$

$$\sum_k q_{vkr} \leq S_{vr} \quad \forall v, r \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l u_{rl} q_{ijkl} \leq \sum_v q_{vkr} \quad \forall k, r \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_l u_{rl} q_{ijkl} \leq D_k p_k \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_k q_{ijkl} \leq a_{il} y_{ij} \quad \forall i, j, l \quad (8)$$

$$\sum_k p_k \leq P \quad (9)$$

$$z_j = \{0, 1\} \quad \forall j \quad (10)$$

$$p_k = \{0, 1\} \quad \forall k \quad (11)$$

$$y_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (12)$$

$$q_{vkr} \geq 0 \quad \forall v, k, r \quad (13)$$

$$q_{ijkl} \geq 0 \quad \forall i, j, k, l \quad (14)$$

کارایی نسبی است که یک معیار کلی از کارایی نسبی در بین واحدهای قابل مقایسه فراهم می‌کند. این معیار تابعی از ورودی و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیری است. یکی از مزیت‌های DEA این است که موجب می‌شود این ورودی‌ها و خروجی‌ها در واحدهای فیزیکی طبیعی خود باقی بمانند و نیاز به کاهش آن‌ها یا تغییر مقیاس آنها نیست [۳۱]. چارنز و همکاران [۳۰] نخستین مدل پیشنهادی برای DEA با نام مدل CCR معرفی کرده‌اند. در این مدل، میزان کارایی هر واحد از تقسیم مجموع موزون خروجی‌های آن واحد بر مجموع موزون ورودی‌های همان واحد معرفی شده است که این میزان برای تمام واحدها باید کوچک‌تر از یک باشد. برای خطی‌سازی این مدل، مدل ضربی CCR رودی محور معرفی شده است که در آن فرض می‌شود میزان مجموع موزون ورودی‌ها ثابت و برابر یک است و کارایی معادل میزان مجموع موزون خروجی‌هاست. کلیمبرگ و رتیک [۳۱] از مدل ضربی CCR ورودی محور چارنز و همکاران [۳۰] استفاده نموده و دو مدل MDEA و SDEA را معرفی کرده‌اند. مدل MDEA مدل DEA اصلاح‌شده است و مدل SDEA مدل تجمیع هم‌زمان DEA است. کلیمبرگ و رتیک [۳۱] این مدل‌ها را با مدل مسئله مکان‌یابی - تخصیص ادغام کرده‌اند. در این تحقیق، برای محاسبه کارایی از مدل SDEA استفاده می‌شود. مدل SDEA عبارت است از:

رابطه ۱ بیانگر تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره تأمین است. رابطه ۲ بیانگر محدودیت تخصیص یک توزیع‌کننده به یک مشتری است. رابطه ۳ نیز محدودیت ظرفیت توزیع‌کننده را بیان می‌کند. رابطه ۴ نیز حداکثر تعداد توزیع‌کنندگان قابل تأسیس را محدود می‌کند. رابطه ۵ محدودیت ظرفیت تولید تأمین‌کننده مواد خام را نشان می‌دهد. رابطه ۶ بیان می‌کند مقدار مواد خام فرستاده‌شده از تأمین‌کننده به هر کارخانه باید بیشتر از نیاز تولیدکننده باشد و نیاز تولیدکننده به هر ماده خام معادل مقدار محصول تولیدشده در آن کارخانه ضرب در میزان استفاده از ماده خام برای هر محصول است. رابطه ۷ ظرفیت هر تولیدکننده را بیان می‌کند. رابطه ۸ نشان می‌دهد مقدار هر محصول که از تمام کارخانه‌ها به توزیع‌کننده و از آنجا به مشتری فرستاده می‌شود باید متناسب با تقاضای مشتری باشد که نیاز از سوی همان توزیع‌کننده برطرف می‌شود. رابطه ۹ محدودیت حداکثر تعداد تولیدکننده‌های قابل تأسیس را نشان می‌دهد. روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشانگر صفر و یک بودن متغیرهای تصمیم‌گیری  $p_k, z_j, y_{ij}$  و همچنین روابط ۱۳ و ۱۴ نشانگر نامنفی بودن متغیرهای تصمیم‌گیری  $q_{vkr}, q_{ijkl}$  است.

## کارایی

کارایی بیانگر چگونگی استفاده یک سازمان از بهترین عملکرد خود در مقطعی از زمان است [۳۵]. تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد ناپارامتری برای اندازه‌گیری

$$\max z = \sum_r (1 - d_r) \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I v_{ri} I_{ir} = 1 \quad \forall r \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^J u_{rj} O_{jr} + d_r = 1 \quad \forall r \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^J u_{rj} O_{jk} - \sum_{i=1}^I v_{ri} I_{ik} \leq 0 \quad \forall r : \forall k \neq r \quad (18)$$

$$u_{rj}, v_{ri} \geq \varepsilon \quad \forall i, j, r \quad (19)$$

$$d_r \geq 0 \quad \forall r \quad (20)$$

زمانی مقدار می‌گیرد که آن تسهیل فعال باشد؛ یعنی تأسیس شده باشد.

روابط ۲۱، ۲۲ و ۲۳ توابع هدف را بیان می‌کنند. روابط توابع هدف اول و دوم نشانگر جمع صورت کسر کارایی تمام واحدها یعنی مجموع موزون خروجی‌هاست و از آنجا که مجموع موزون ورودی‌ها در محدودیت‌ها معادل یک است، صورت کسر کارایی همان میزان کارایی را نشان می‌دهد و با بیشینه‌سازی این مقدار کارایی بیشینه می‌شود. تابع هدف اول به دنبال بیشینه‌سازی کارایی توزیع‌کنندگان و تابع هدف دوم نشانگر بیشینه‌سازی کارایی تولیدکنندگان است. برای محاسبه کارایی کل زنجیره تأمین می‌توان به جای دو تابع هدف اول از مجموع موزون آن‌ها استفاده کرد. تابع هدف سوم به دنبال حداقل‌سازی مجموعه کل هزینه‌هاست.

$$\max z_1 = \sum_j (1 - d_j) \quad (21)$$

$$\max z_2 = \sum_k (1 - d_k) \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \min z_3 = & \sum_j \dot{c}_j z_j + \sum_k \dot{c}_k P_k + \sum_i \sum_j \sum_l v_{jl} a_{il} y_{ij} \\ & + \sum_i \sum_j \sum_l \sum_k v_{lk} \dot{q}_{ijkl} + \sum_v \sum_k \sum_r t_{vkr} q_{vkr} \\ & + \sum_i \sum_l \sum_k \sum_j \dot{t}_{ijkl} \dot{q}_{ijkl} \end{aligned} \quad (23)$$

در این مدل، متغیرهای  $f_{kh}$  و  $g_{kn}$  نشان می‌دهند از هر ورودی و خروجی هر تولیدکننده چه مقدار در این برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. همچنین، متغیرهای  $f_{jh}$  و  $g_{jn}$  نشان می‌دهند از هر ورودی و خروجی هر توزیع‌کننده چه مقدار در این برنامه‌ریزی استفاده می‌شود. محدودیت‌های مدل نیز عبارت‌اند از:

پارامترها و متغیرهای مدل SDEA به قرار زیر است:

$O_{jr}$  مقدار زامین خروجی واحد  $r$

$I_{ir}$  مقدار  $i$  آمین ورودی واحد  $r$

$v_{ri}$  ضریب وزنی ورودی  $i$  ام برای واحد  $r$

$u_{rj}$  ضریب وزنی خروجی  $j$  ام برای واحد  $r$

رابطه ۱۵ بیانگر میزان مجموع کارایی واحدهاست که بیشینه‌سازی آن مد نظر محققان است. رابطه ۱۶ این محدودیت را بیان می‌کند که مجموع موزون ورودی‌های هر واحد برابر یک است. رابطه ۱۷ نشان می‌دهد  $1 - d_r$  همان مجموع موزون خروجی‌های هر واحد است. رابطه ۱۸ و ۲۰ بیانگر این محدودیت است که میزان کارایی هر واحد باید کوچک‌تر از یک باشد. رابطه ۱۹ بیان می‌کند هر واحد باید حداقل کمترین مقدار از هر ورودی و خروجی را داشته باشد؛ یعنی مطابق با تحقیق پورمبسکی و همکاران [۳۶]، واحدها باید کاملاً همگن باشند و درواقع واحدها باید معیارهای ورودی‌ها و خروجی‌های کاملاً مشابه داشته باشند.

## طراحی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن کارایی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان

بین دو مدل طراحی زنجیره تأمین و مدل تجمیع DEA باید روابط و وابستگی‌هایی به وجود آید، به نحوی که متغیرهای مدل تجمیع DEA با متغیر تأسیس تولیدکننده و توزیع‌کننده به هم وابسته باشند. براساس این وابستگی، یک تسهیل در صورتی کارایی دارد که ورودی و خروجی داشته باشد و شاخص‌های ورودی و خروجی یک تسهیل

$\sum_h f'_{kh} I'_{kh} = p_k$	$\forall k$	(۲۴)
$\sum_n g'_{kn} O'_{kn} + d'_k = p_k$	$\forall k$	(۲۵)
$\sum_n g'_{kn} O'_{in} - \sum_h f'_{kh} I'_{th} \leq 0$	$\forall k : \forall t \neq k$	(۲۶)
$\sum_h f'_{jh} I'_{jh} = z_j$	$\forall j$	(۲۷)
$\sum_n g'_{jn} O'_{jn} + d'_j = z_j$	$\forall j$	(۲۸)
$\sum_n g'_{jn} O'_{in} - \sum_h f'_{jh} I'_{th} \leq 0$	$\forall j : \forall t \neq j$	(۲۹)
$g'_{kn} \geq \varepsilon p_k$	$\forall k, n$	(۳۰)
$f'_{kh} \geq \varepsilon p_k$	$\forall k, h$	(۳۱)
$g'_{jn} \geq \varepsilon z_j$	$\forall j, n$	(۳۲)
$f'_{jh} \geq \varepsilon z_j$	$\forall j, h$	(۳۳)
$g'_{kn} \geq 0$	$\forall k, n$	(۳۴)
$f'_{kh} \geq 0$	$\forall k, h$	(۳۵)
$g'_{jn} \geq 0$	$\forall j, n$	(۳۶)
$f'_{jh} \geq 0$	$\forall j, h$	(۳۷)
$d'_k \geq 0$	$\forall k$	(۳۸)
$d'_j \geq 0$	$\forall j$	(۳۹)

یک باشد. روابط ۳۰ و ۳۱ نشان می‌دهند هر تولیدکننده در صورت تأسیس، حداقل به میزان اندکی خروجی و ورودی دارد. البته با توجه به این روابط و همچنین رابطه ۱۱، نیازی به دو محدودیت ۳۴ و ۳۵ نیست و می‌توان آن‌ها را از مدل حذف کرد. همچنین، روابط ۳۲ و ۳۳ نشان می‌دهند هر توزیع‌کننده در صورت تأسیس حداقل به میزان اندکی خروجی و ورودی دارد. البته با توجه به این روابط و همچنین رابطه ۱۰، نیازی به دو محدودیت ۳۶ و ۳۷ نیست و می‌توان آن‌ها را از مدل حذف کرد.

### نتایج محاسباتی

مقادیر پارامترهای مدل زنجیره تأمین عبارت‌اند از:

روابط ۲ تا ۱۴ نیز در این مدل تکرار می‌شوند. رابطه ۲۴ بیان می‌کند در صورت تأسیس یک تولیدکننده، مقدار مجموع موزون ورودی‌های آن تولیدکننده برابر یک است و در غیر این صورت معادل صفر است. رابطه ۲۵ بیان می‌کند در صورت تأسیس تولیدکننده  $k$ ، مقدار معادل مجموع موزون خروجی تولیدکننده  $k$   $1-d'_k$  است. به همین ترتیب، رابطه ۲۷ بیان می‌کند در صورت تأسیس یک توزیع‌کننده، مقدار مجموع موزون ورودی‌های آن توزیع‌کننده برابر یک است و در غیر این صورت معادل صفر است. رابطه ۲۸ بیان می‌کند در صورت تأسیس توزیع‌کننده  $j$ ، مقدار معادل مجموع موزون خروجی توزیع‌کننده  $j$   $1-d_j$  است. روابط ۲۶، ۲۹، ۳۸ و ۳۹ بیانگر این محدودیت است که میزان کارایی هر واحد باید کوچکتر از



I	۱۰
J	۱۰
K	۱۰
L	۲
R	۲
V	۵
N	۳
H	۴
$c_j'$	$U[۱۰۰۰۰, ۳۰۰۰۰]$
$c_k''$	$U[۱۰۰۰۰, ۳۰۰۰۰]$
$v_{jl}'$	$U[۱, ۱۰]$
$t_{vkr}$	۱* فاصله اقلیدسی
$w_j$	$U[0.17 \sum_i \sum_l u_l'' a_{il}, 0.5 \sum_i \sum_l u_l'' a_{il}]$
$D_k$	$U[0.17 \sum_i \sum_l u_l' a_{il}, 0.5 \sum_i \sum_l u_l' a_{il}]$
$S_{vr}$	$U[0.17 \sum_i \sum_l u_{rl}' a_{il}, 0.5 \sum_i \sum_l u_{rl}' a_{il}]$

$O_{jn}$	$U[۴۰, ۱۰۰]$
$I_{jh}$	$U[۵۰, ۱۰۰]$
$O_{kn}'$	$U[۴۰, ۱۰۰]$
$I_{kh}'$	$U[۱۰, ۱۰۰]$
$u_{rl}'$	$U[۲, ۵]$
$u_l'$	$U[۲, ۵]$
$u_l''$	$U[۲, ۵]$
W	۵
P	۵
$a_{il}$	$U[۱۰, ۱۰۰]$
$v_{lk}$	$U[۱, ۱۰]$
$t_{ijkl}'$	۱* فاصله اقلیدسی

تأمین به‌عنوان تابع هدف دوم فرض شده است. در روش وزن‌دهی از توابع هدف بی‌مقیاس استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی مانند روابط ۴۰ و ۴۱ برای بی‌مقیاس‌سازی مطرح شده‌اند. در روابط یادشده،  $f_j^*$  مقدار ایده‌آل تابع هدف  $z$  و  $f_j^-$  بدترین مقدار تابع هدف  $z$  است. در این تحقیق از رابطه ۴۱ برای بی‌مقیاس‌سازی استفاده شده است.

$$(f_j^* - f_j) / (f_j^* - f_j^-) \quad (۴۰)$$

$$f_j / f_j^* \quad (۴۱)$$

جدول ۱ بیانگر سه جهش در میزان تابع هدف هزینه‌ها در طول تغییرات ضرایب تابع هدف کارایی است. با اینکه میزان تابع هدف هزینه بین ضریب تابع هدف کارایی ۰/۱ تا ۰/۶۷۵ ثابت است، تمام متغیرهای مسئله در این بازه یکسان نیستند؛ به عبارت دیگر، در این بازه متغیر  $q'_{ijkl}$  به‌نحوی تغییر می‌کند که میزان  $x_{lk} = \sum_i \sum_j q'_{ijkl}$  ثابت بماند. همچنین، این تغییرات در بازه‌های دیگر که میزان توابع هدف یکسانی دارند تکرار شده است. جواب‌های حاصل از دو ضریب ۰ و ۱ جواب‌های پارتویی نیستند، زیرا جواب‌های دیگر بر آن‌ها مسلط هستند.

پارامترهای یادشده برای سهولت تولید با نرم‌افزار متلب فرض شده‌اند که توزیع یکنواخت دارند. با اینکه در مراجعی مانند [۳۷] نیز از توزیع یکنواخت برای ایجاد پارامترهای مثال عددی استفاده شده است، ضرورتی به داشتن این فرض نیست. مکان بالقوه هر یک از تسهیلات نیز به‌طور تصادفی و با تابع توزیع یکنواخت بین [۰، ۱۰۰۰] انتخاب شده است.

### حل مدل طراحی زنجیره تأمین کارا

این مدل با استفاده از دو روش وزن‌دهی توابع هدف و محدودیت اپسیلون حل شده است. در ادامه، روش حل و نتایج در هر بخش آمده است. در انتهای این بخش جواب‌های مسلط و نامسلط مشخص شده است.

### حل مدل طراحی زنجیره تأمین کارا به روش

#### وزن‌دهی توابع هدف

در روش وزن‌دهی توابع هدف، برای سهولت فرض شده است که توابع هدف کارایی تولیدکنندگان و توزیع‌کننده به یک میزان اهمیت دارند و میزان کارایی کل زنجیره تأمین به‌عنوان یک تابع هدف و میزان هزینه‌های کل زنجیره

## جدول ۱. نتایج حل مدل زنجیره تأمین با در نظر گرفتن کارایی تولیدکنندگان با روش وزن‌دهی توابع هدف

ضریب تابع هدف کارایی	ضریب تابع هدف هزینه‌ها	بی‌مقیاس‌سازی با رابطه (۴۰)	
		کارایی تولیدکننده	تابع هدف هزینه‌ها
۰	۱	۶/۰۸۳	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۱	۰/۹	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۲	۰/۸	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۳	۰/۷	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۴	۰/۶	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۵	۰/۵	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۶	۰/۴	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۷	۰/۳	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۰/۸	۰/۲	۹/۹۳۶	۳۱۵۹۵۹۲
۰/۹	۰/۱	۹/۹۳۶	۳۱۵۹۵۹۲
۰/۹۹	۰/۰۱	۱۰	۳۵۶۹۱۷۸
۱	۰	۱۰	۱۰۷۵۶۸۳۹

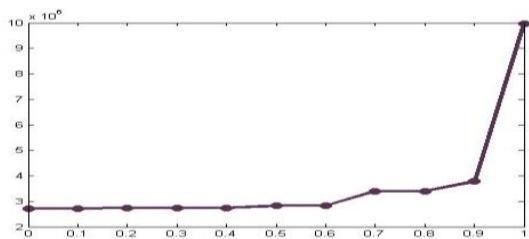
کارایی تولیدکننده و توزیع‌کننده، هیچ تغییری در مقدار هزینه حاصل نمی‌شود و با ضریب یک برای تابع هدف هزینه‌ها، مدل فقط به کمینه‌کردن هزینه‌ها می‌پردازد؛ بنابراین، میزان کارایی در این حالت کاهش یافته است، اما با وارد کردن تابع هدف کارایی با کمترین ضریب تابع هدف، مقدار کارایی افزایش می‌یابد، درحالی‌که مقدار تابع هدف هزینه‌ها بدتر نمی‌شود و ثابت باقی می‌ماند. همچنین، در آخرین مراحل افزایش ضریب تابع هدف کارایی، کارایی حداکثر مقدار ممکن را به خود می‌گیرد و با تغییر ضریب تابع هدف کارایی از ۰/۹ به ۱، مقدار کارایی تغییری نمی‌کند و فقط میزان هزینه‌ها افزایش می‌یابد. از مقایسه جدول‌های ۱ و ۲ مشخص می‌شود مقادیر توابع هدف کارایی تولیدکننده در این جدول‌ها یکسان است و فقط مقادیر تابع هدف هزینه‌ها متفاوت است.

در این مثال عددی با وارد کردن کارایی تولیدکنندگان با ضریب تابع هدف کارایی کمتر، هیچ تغییری در مقدار هزینه کل حاصل نمی‌شود. با در نظر گرفتن ضریب ۱ برای تابع هدف هزینه‌ها، مدل فقط به حل مدل زنجیره تأمین با کمینه‌کردن هزینه‌ها می‌پردازد؛ بنابراین، میزان کارایی در این حالت کاهش یافته است. با وارد کردن تابع هدف کارایی با کمترین ضریب ممکن، مقدار کارایی افزایش می‌یابد، درحالی‌که مقدار تابع هدف هزینه‌ها بدتر نمی‌شود و ثابت باقی می‌ماند. همچنین، در آخرین مراحل افزایش ضریب تابع هدف کارایی (از ۰/۹ به ۱)، مقدار کارایی تغییری نمی‌کند، ولی میزان هزینه‌ها افزایش می‌یابد. نتایج حل مدل زنجیره تأمین کارا (کارایی تولیدکننده و توزیع‌کننده) در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲ بیان می‌کند با وارد کردن ضریب کوچکی از

جدول ۲. نتایج حل مدل زنجیره تأمین کارا با وزن‌دهی توابع هدف

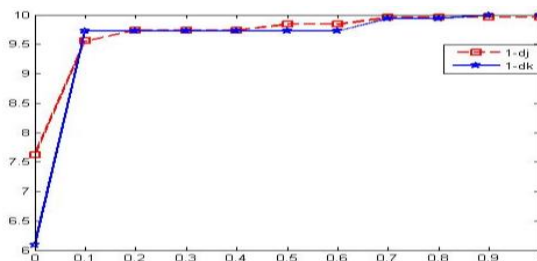
تابع هدف هزینه‌ها	تابع هدف کارایی تولیدکننده	تابع هدف کارایی توزیع‌کننده	ضریب تابع هدف هزینه‌ها	ضریب تابع هدف کارایی
۲۷۲۱۶۱۷	۶/۰۸۳	۷/۶۲۵	۱	۰
۲۷۲۱۶۱۷	۹/۷۲۵	۹/۵۶	۰/۹	۰/۱
۲۷۲۱۶۱۷	۹/۷۲۵	۹/۷۴۱	۰/۸	۰/۲
۲۷۴۲۵۲۵	۹/۷۲۵	۹/۷۴۱	۰/۷	۰/۳
۲۷۴۲۵۲۵	۹/۷۲۵	۹/۷۴۱	۰/۶	۰/۴
۲۸۲۹۷۵۷	۹/۷۲۵	۹/۸۴۱	۰/۵	۰/۵
۲۸۲۹۷۵۷	۹/۷۲۵	۹/۸۴۱	۰/۴	۰/۶
۳۳۹۹۲۳۵	۹/۹۳۶	۹/۹۵۵	۰/۳	۰/۷
۳۳۹۹۲۳۵	۹/۹۳۶	۹/۹۵۵	۰/۲	۰/۸
۳۷۸۳۱۹۹	۱۰	۹/۹۵۵	۰/۱	۰/۹
۹۹۷۵۶۰۶	۱۰	۹/۹۵۵	۰	۱



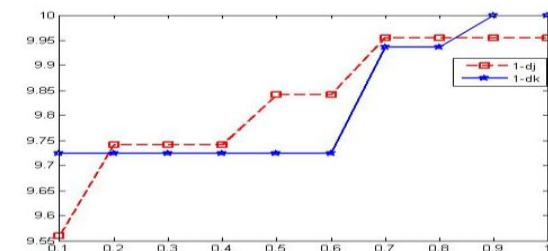
شکل ۳. تغییرات تابع هدف هزینه‌های کل نسبت به تغییرات ضریب تابع هدف کارایی

یکی از مشکلات روش وزن‌دهی توابع هدف انتخاب ضرایب است. کوسکی و سیلونوینن [۳۸] روش وزن‌دهی جزئی ارائه کرده‌اند که در آن توابع هدف اصلی در مجموعه‌هایی با مشخصات مشترک گروه‌بندی می‌شوند. هر مجموعه برای شکل‌دادن به یک تابع وزنی مستقل با مجموعه منحصر به فرد وزن‌ها به کار می‌رود و به این طریق، تعداد توابع هدف اصلی کاهش می‌یابد. تفسیر اشتباه معنای نظری و عملی وزن‌ها ممکن است فرایند انتخاب وزن‌های غیراختیاری را بی‌تأثیر کند. با روش رتبه‌بندی یون و هوانگ [۳۹]، توابع هدف مختلف را براساس اهمیت مرتب کرده و به اهدافی که کمترین اهمیت را دارند وزن ۱ داده‌اند. بسیاری از محققان در استفاده از روش وزن‌دهی توابع هدف با مشکل مواجه شده‌اند [۴۰-۴۴]. برخلاف بسیاری

نمودارهای ۱ و ۲ تغییرات تابع هدف کارایی توزیع‌کنندگان و تولیدکنندگان نسبت به ضریب تابع هدف کارایی را نشان می‌دهند که خط چین نشان‌دهنده کارایی توزیع‌کنندگان و خط نشان‌دهنده کارایی تولیدکنندگان است. نمودار ۳ تغییرات تابع هدف هزینه‌ها نسبت به ضریب تابع هدف کارایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تغییرات تابع هدف کارایی تولیدکنندگان و تولیدکنندگان نسبت به تغییرات ضریب تابع هدف کارایی



شکل ۲. تابع هدف کارایی توزیع‌کنندگان و تولیدکنندگان نسبت به تغییرات ضریب تابع هدف کارایی با حذف مبدأ

## حل مدل طراحی زنجیره تأمین کارا به روش محدودیت اپسیلون

در روش محدودیت اپسیلون تمام توابع به جز یکی به محدودیت‌ها منتقل می‌شود. گام‌های آن عبارت است از:

۱. یکی از توابع، تابع اصلی در نظر گرفته می‌شود.
  ۲. مقادیر بهینه تک تک توابع هدف به دست می‌آید.
  ۳. بازه بین دو مقدار ایده‌آل و ضد ایده‌آل توابع هدف فرعی به تعداد معینی تقسیم‌بندی می‌شود.
  ۴. هر بار مدل با تابع هدف اصلی و محدودیت‌های توابع هدف  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_N$  فرعی حل می‌شود.
- در این تحقیق، ابتدا تابع هدف هزینه‌ها سپس تابع هدف کارایی تولیدکنندگان و در نهایت تابع هدف کارایی توزیع‌کنندگان، تابع هدف اصلی در نظر گرفته شده‌اند. در هر مرحله، همه توابع به جز تابع هدف اصلی در محدودیت‌ها قرار می‌گیرند. نتایج به ترتیب در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده می‌شود.

از روش‌های موجود برای تعیین وزن‌ها، انتخاب مناسب از وزن‌ها موجب تضمین این مسئله نمی‌شود که جواب نهایی قابل قبول است و می‌توان با وزن‌های جدید جواب بهتری تولید کرد. در واقع، وزن‌ها باید توابع اهداف اصلی باشند نه ثابت‌ها تا مجموع وزنی دقیقی از تابع مطلوبیت تولید کنند [۴۱]. مشکل دوم روش وزن‌دهی توابع هدف این است که نمی‌توان نقاط را روی بخش‌های غیرمحدب مجموعه مطلوب پارتو در فضای جواب به دست آورد [۴۲]. مساک و همکاران [۴۳] دلایل نظری این مشکل را ارائه نموده‌اند. مشکل آخر روش یادشده این است که تغییر وزن به صورت مستمر و پیوسته همیشه به توزیع یکنواخت نقاط مطلوب پارتو و نمایش دقیق و کامل مجموعه مطلوب پارتو منجر نمی‌شود [۴۴]. داس و دنیس [۴۴] در مورد این نقص با جزئیات بحث می‌کند و شرایط لازم برای تکرارهای مجموع وزنی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج حل مدل زنجیره تأمین کارا با محدودیت اپسیلون با تابع اصلی هزینه‌ها

محدودیت کارایی توزیع‌کننده	محدودیت کارایی تولیدکننده	کارایی توزیع‌کننده	کارایی تولیدکننده	هزینه‌های کل
۹/۹۵	۹/۹۳	۹/۹۵	۹/۹۳	۳۳۹۹۲۳۵
۹/۹۵	۹/۹۱	۹/۹۵	۹/۹۱	۳۳۹۹۲۳۵
۹/۹	۹/۹۹	۹/۹۵۵	۱۰	۳۷۸۳۱۹۹
۹/۹	۹/۹۵	۹/۹۵۵	۹/۹۵	۳۷۸۳۱۹۹
۹/۹	۹/۹۳	۹/۹۵۵	۹/۹۳	۳۳۹۹۲۳۵
۹/۹	۹/۹۲	۹/۹۵۵	۹/۹۲	۳۳۹۹۲۳۵
۹/۹	۹/۹	۹/۹۵۵	۹/۹	۳۳۹۹۲۳۵
۹/۸	۹/۹	۹/۸	۹/۹	۳۲۲۰۳۴۸
۹/۸	۹/۸	۹/۸۴۱	۹/۸	۳۲۲۰۳۴۸
۹/۷	۹/۹	۹/۷	۹/۹	۳۱۹۵۲۱۳
۹/۳	۹/۹	۹/۳	۹/۹	۳۱۶۴۸۶۵
۹	۹/۸	۹	۹/۸	۳۱۵۹۵۹۲

جدول ۴. نتایج حل مدل زنجیره تأمین کارا با محدودیت اپسیلون با تابع اصلی کارایی تولیدکنندگان

محدودیت کارایی توزیع‌کننده	محدودیت هزینه‌های کل	کارایی توزیع‌کننده	کارایی تولیدکننده	هزینه‌های کل
۹/۹	۳۸۰۰۰۰۰	۹/۹۵۵	۱۰	۳۸۰۰۰۰۰
۹/۹	۳۷۰۰۰۰۰	۹/۹۳۹	۹/۹۳۶	۳۷۰۰۰۰۰
۹/۹۵	۳۷۰۰۰۰۰	۹/۹۵۵	۹/۹۳۶	۳۷۰۰۰۰۰
۹/۹	۳۵۰۰۰۰۰	۹/۹۵۵	۹/۹۳۶	۳۵۰۰۰۰۰
۹/۹	۳۲۰۰۰۰۰	۹/۹	۹/۷۲۵	۳۲۰۰۰۰۰
۸	۳۰۰۰۰۰۰	۸/۸۵۷	۹/۷۲۵	۳۰۰۰۰۰۰
۸	۲۸۰۰۰۰۰	۸	۹/۷۲۵	۲۸۰۰۰۰۰

جدول ۵. نتایج حل مدل زنجیره تأمین کارا با محدودیت اپسیلون با تابع اصلی کارایی توزیع‌کنندگان

محدودیت کارایی تولیدکننده	محدودیت هزینه‌های کل	کارایی توزیع‌کننده	کارایی تولیدکننده	هزینه‌های کل
۹/۷	۳۷۰۰۰۰۰	۹/۹۵۵	۹/۷	۳۷۰۰۰۰۰
۹/۹۵	۳۷۰۰۰۰۰	۹/۸۹۴	۹/۹۵	۳۷۰۰۰۰۰
۹/۷	۳۰۰۰۰۰۰	۹/۸۹۴	۹/۷	۳۰۰۰۰۰۰
۹/۷	۲۸۰۰۰۰۰	۹/۷۹۴	۹/۷	۲۸۰۰۰۰۰
۹/۷	۲۷۵۰۰۰۰	۹/۷۴۱	۹/۷	۲۷۵۰۰۰۰
۹/۷	۲۷۳۰۰۰۰	۹/۵۶	۹/۷	۲۷۳۰۰۰۰

### تعیین جواب‌های مسلط و نامسلط

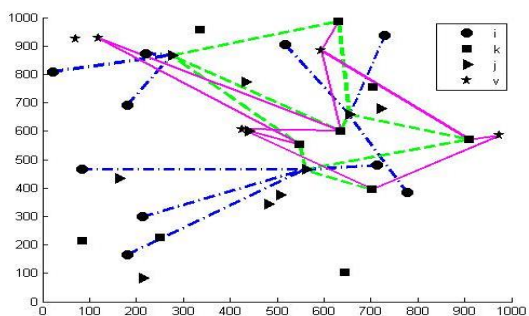
جواب «الف» زمانی بر جواب «ب» مسلط است که همه توابع هدف جواب «الف» بهتر یا مساوی توابع هدف جواب «ب» باشد و حداقل مقدار یکی از توابع هدف «الف» بهتر و نه مساوی مقدار تابع هدف جواب «ب» باشد.

این بخش تعیین نمی‌کند جواب‌های حاصل جواب‌های پارتویی یا مسلط برای تمام جواب‌های ممکن است یا خیر و فقط جواب‌های به‌دست‌آمده با هم مقایسه می‌شود و آن دسته از جواب‌های تحت تسلط سایر جواب‌های حاضر حذف می‌شود. جواب‌های جدول‌های ۲ تا ۵ با هم مقایسه شده‌اند. جدول ۶ بیانگر جواب‌هایی است که از بین جواب‌های مذکور، بر سایر جواب‌ها مسلط شده و در بین جواب‌های حاضر جوابی بر آن‌ها مسلط نشده است.

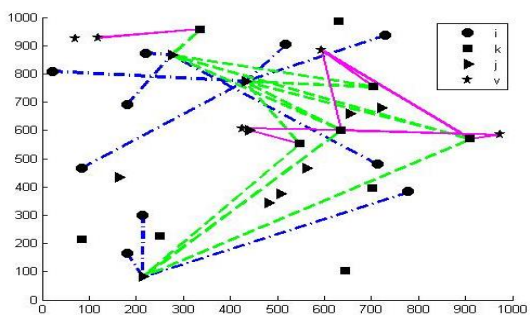
اگر برای روش محدودیت اپسیلون جوابی وجود داشته باشد، جواب حاصل، یک جواب پارتویی ضعیف است [۴۵] و هر نقطه مطلوب و ضعیف پارتو را در صورتی می‌توان به‌دست آورد که منطقه امکان‌پذیر محدب باشد و تمام توابع هدف به‌صورت صریح شبه‌محدب باشد [۴۶]. همچنین، اگر جواب حاصل منحصره‌فرد باشد، جواب بهینه پارتو است [۴۴]. اگر فضای جواب مسئله محدب باشد و تابع هدف نیز کاملاً محدب باشد، جواب منحصره‌فرد است [۴۷]. در روش محدودیت اپسیلون جواب‌های با محدودیت فعال مطلوب پارتو هستند [۴۸]. مشکل روش محدودیت اپسیلون، پیچیدگی محاسباتی آن نسبت به تعداد اهداف است [۴۹].

جدول ۶. جواب‌های مسلط مدل زنجیره تأمین کارا

شماره جواب	تابع هدف کارایی توزیع کنندگان	تابع هدف کارایی تولید کنندگان	تابع هدف هزینه‌ها
۱	۹/۷۴۱	۹/۷۲۵	۲۷۲۱۶۱۷
۲	۹/۷۹۴	۹/۷	۲۸۰۰۰۰۰
۳	۹/۸۴۱	۹/۷۲۵	۲۸۲۹۷۵۷
۴	۹/۸۹۴	۹/۷	۳۰۰۰۰۰۰
۵	۹	۹/۸	۳۱۵۹۵۹۲
۶	۹/۳	۹/۹	۳۱۶۴۸۶۵
۷	۹/۷	۹/۹	۳۱۹۵۲۱۳
۸	۹/۹	۹/۷۲۵	۳۲۰۰۰۰۰
۹	۹/۸	۹/۹	۳۲۲۰۳۴۸
۱۰	۹/۸۴۱	۹/۸	۳۲۲۰۳۴۸
۱۱	۹/۹۵۵	۹/۹۳۶	۳۳۹۹۲۳۵
۱۲	۹/۸۹۴	۹/۹۵	۳۷۰۰۰۰۰
۱۳	۹/۹۵۵	۱۰	۳۷۸۳۱۹۹



شکل ۶. موقعیت جغرافیایی زنجیره در جواب ۷

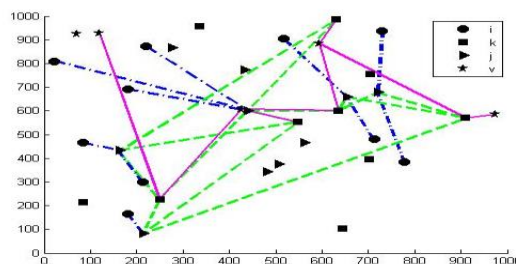


شکل ۷. موقعیت جغرافیایی زنجیره در جواب ۸

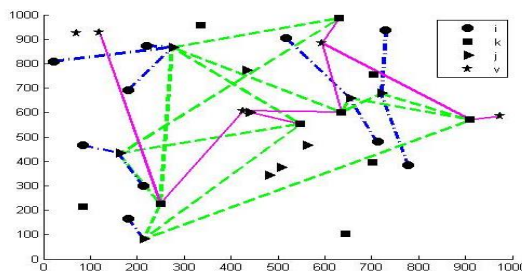
### نتیجه‌گیری

فعالیت در قالب یک زنجیره مزایای رقابتی سازمان‌ها را بهبود داده است تا آن‌ها شانس بیشتری برای بقا و موفقیت

شکل‌های ۴ تا ۷ موقعیت تسهیلات در زنجیره مربوط به جواب‌های ۵ تا ۸ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها مشخص است زنجیره با کمترین میزان تغییر در مقادیر توابع هدف ممکن است تغییرات اساسی در موقعیت و برنامه‌ریزی تسهیلات داشته باشد؛ بنابراین، برای طراحی زنجیره تأمین باید از معیارهای مناسبی استفاده شود.



شکل ۴. موقعیت جغرافیایی زنجیره در جواب ۴



شکل ۵. موقعیت جغرافیایی زنجیره در جواب ۵

جواب‌های پارتویی افزایش داده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از الگوریتم فوق و دیگر روش‌های نوین ارائه‌شده برای مسائل چند تابع هدفه برای حل مسئله استفاده شود.

• از سایر مدل‌های DEA برای گنجانیدن کارایی تسهیلات در طراحی شبکه زنجیره تأمین استفاده شود.

• مدل زنجیره تأمین کارای چند دوره‌ای طراحی شود. • تصمیمات عملیاتی در زنجیره تأمین کارا اضافه شود؛ مانند کنترل موجودی و کنترل تولید.

• فرض وابستگی شاخص‌های کارایی به مقصد محصول اضافه شود.

• زنجیره تأمین کارای چندین لایه طراحی شود و میزان تأثیر کارایی در مدل و نتایج آن بررسی شود.

در بازارها داشته باشند. در نظر گرفتن تابع هدف افزایش کارایی موجب می‌شود زنجیره پاسخ مناسب‌تری به تعدد انتخاب‌های ممکن بدهد. در این پژوهش، مدلی برای طراحی زنجیره تأمین چندمحصوله با چند ماده اولیه ارائه شد. این زنجیره شامل چهار لایه تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری است. افزایش کارایی توزیع‌کننده، افزایش کارایی تولیدکننده و کاهش هزینه‌های کل توابع هدف این زنجیره تعریف شدند. هدف مدل معرفی‌شده مکان‌یابی تولیدکننده و انبار و همچنین برنامه‌ریزی میزان خرید از هر تأمین‌کننده بود. در این پژوهش، مثال عددی طراحی و حل شد که نتایج آن نشان داد اضافه کردن کارایی به مدل زنجیره تأمین موجب ارتقای مدل می‌شود.

در پژوهش‌های آتی می‌توان موارد زیر را در نظر گرفت:

- بروبه و همکاران [۵۰] الگوریتمی ارائه کرده اند که سرعت روش محدودیت اپسیلون را در یافتن تمام

## مراجع

1. Castillo-Villar, K. K., Smith, N. R. and Herbert-Acero, J. F. (2014). "Design and optimization of capacitated supply chain networks including quality measures", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, 17, doi:10.1155/2014/218913.
2. Bala, K. (2014). "Supply chain management: Some issues and challenges-a review", *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 2, PP. 947- 953.
3. S. Chopra, P. Meindl, (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations*. Prentice Hall, New Jersey.
4. Melo, M. T. S. N and da Gama, F. S. (2005). "Dynamic multi-commodity capacitated facility location: A mathematical modeling framework for strategic supply chain planning", *Computers and Operations Research*, Vol. 33, No.1, PP. 181- 208.
5. Melo, M. T., Nickel, S. and Saldanha-Da-Gama, F. (2009). "Facility location and supply chain management-A review", *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 2, PP. 401- 412.
6. Correia, I., Melo, T. and Saldanha-da-Gama, F. (2013). "Comparing classical performance measures for a multi-period, two-echelon supply chain network design problem with sizing decisions", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 64, No. 1, PP. 366- 380.
7. Solo, C. J. (2009). *Multi-objective, integrated supply chain design and operation under uncertainty*. Ph.D thesis, The Pennsylvania State University, <https://etda.libraries.psu.edu/paper/9709/5222>
8. Pan, F. and Nagi, R. (2013). "Multi-echelon supply chain network design in agile manufacturing", *Omega*, Vol. 41, No. 6, PP. 969- 983.
9. Seuring, S. (2013). "A review of modeling approaches for sustainable supply chain management", *Decision Support Systems*, Vol. 54, No. 4, PP. 1513- 1520.
10. Tang, O. and Nurmaya Musa, S. (2011). "Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 133, No.1, PP. 25- 34.

11. Minner, S. (2003). "Multiple-supplier inventory models in supply chain management: A review", *International Journal of Production Economics*, Vol. 81, PP. 265- 279.
  12. Sarkis, J., Zhu, Q. and Lai, K. H. (2011). "An organizational theoretic review of green supply chain management literature", *International Journal of Production Economics*, Vol. 130, No. 1, PP. 1- 15.
  13. Meixell, M. J. and Gargeya, V. B. (2005). "Global supply chain design: A literature review and critique", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 41, No. 6, PP. 531- 550.
  14. Gan, M., Li, Z. and Chen, S. (2014). "On the transformation mechanism for formulating a multiproduct two-layer supply chain network design problem as a network flow model", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, doi:10.1155/2014/480127.
  15. Xu, N. and Nozick, L. (2009). "Modeling supplier selection and the use of option contracts for global supply chain design", *Computers & Operations Research*, Vol. 36, No. 10, PP. 2786- 2800.
  16. Syam, S. S. and Côté, M. J. (2010). "A location-allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations", *Omega*, Vol. 38, No. 3, PP. 157- 166.
  17. Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Paksoy, T. (2006). "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 51, No. 1, PP. 196- 215.
  18. Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L. and Karaoglan, I. (2009). "A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, No. 2, PP. 521- 537.
  19. Sahraeian, R., Bashiri, M. and Ramezani, M. (2010). "A Stochastic multi-product, multi-stage supply chain design considering products waiting time in the queue", *International Conference of Industrial Engineering and Operations Management Dhaka*, Bangladesh.
  20. Bashiri, M. et al., (2010). *Facilities Planning II: Applications & research areas*, Shahed University Pub. Co., Tehran.
  21. Georgiadis, M. C., Tsiakis, P., Longinidis, P. and Sofioglou, M. K. (2011). "Optimal design of supply chain networks under uncertain transient demand variations", *Omega*, Vol. 39, No. 3, PP. 254- 272.
  22. Baghalian, A., Rezapour, S. and Farahani, R. Z. (2013). "Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case", *European Journal of Operational Research*, Vol. 227, No. 1, PP. 199- 215.
  23. Mirzapour Al-E-Hashem, S. M. J., Malekly, H. and Aryanezhad, M. B. (2011). "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", *International Journal of Production Economics*, Vol. 134, No. 1, PP. 28- 42.
  24. Pishvaei, M. S., Rabbani, M. and Torabi, S. A. (2011). "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Applied Mathematical Modeling*, Vol. 35, No. 2, PP. 637-649.
  25. Pishvaei, M. S. and Torabi, S. A. (2010). "A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Fuzzy sets and systems*, Vol. 161, No. 20, PP. 2668- 2683.
  26. Pishvaei, M. S., Razmi, J. and Torabi, S. A. (2012). "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 206, PP. 1- 20.
  27. Tavana, M., Mirzagoltabar, H., Mirhedayatian, S. M., Saen, R. F. and Azadi, M. (2013). "A new network epsilon-based DEA model for supply chain performance evaluation", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 66, No. 2, PP. 501- 513.
  28. Parmigiani, A., Klassen, R. D. and Russo, M. V. (2011). "Efficiency meets accountability: Performance implications of supply chain configuration, control, and capabilities", *Journal of Operations Management*, Vol. 29, No. 3, PP. 212- 223.
  29. Shafiee, M., Lotfi, F. H. and Saleh, H. (2014). "Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach." *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 38, No. 21, PP. 5092-5112.
-



30. Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, PP. 429- 444.
31. Klimberg, R. K. and Ratick, S. J. (2008). "Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions", *Computers & Operations Research*, Vol. 35, No. 2, PP. 457- 474.
32. Moheb-Alizadeh, H., Rasouli, S. M. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). "The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 5, PP. 5687- 5695.
33. Ganeshan, R. and Harrison, T. P. (1995). "An introduction to supply chain management", *Department of Management Science and Information Systems*, Vol. 1, No.1, PP. 1-7.
34. Shen, Z. (2007). "Integrated supply chain design models: A survey and future research directions", *Journal of Industrial and Management Optimization*, Vol. 3, No. 1, PP. 1- 12.
35. Pierce, N. A. and Giles, M. B. (1997). "Preconditioned multi-grid methods for compressible flow calculations on stretched meshes", *Journal of Computational Physics*, Vol. 136, No. 2, PP. 425- 445.
36. Porembski, M., Breitenstein, K. and Alpar, P. (2005). "Visualizing efficiency and reference relations in data envelopment analysis with an application to the branches of a German bank", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 23, No. 2, PP. 203- 221.
37. Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. and Novais, A. Q. (2007). "An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty", *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, No. 3, PP. 1063- 1077.
38. Koski, J. and Silvenoinen, R. (1987). "Norm methods and partial weighting in multi-criterion optimization of structures", *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 24, No.6, PP. 1101– 1121.
39. Yoon, K. P. and Hwang, C. L. (1995). *Multiple Attribute Decision Making, an Introduction*, Sage Publications, London.
40. Messac, A., Sukam, C. P. and Melachrinoudis, E. (2000). "Aggregate objective functions and Pareto frontiers: Required relationships and practical implications", *Optim. Eng.*, Vol. 1, No.2, PP. 171– 188.
41. Messac, A. and Hattis, P. (1996). "Physical programming design optimization for high speed civil transport (HSCT)", *J. Aircr.*, Vol. 33, No.2, PP. 446– 449.
42. Das, I. and Dennis, J. E. (1998). "Normal-boundary intersection: A new method for generating the Pareto surface in nonlinear multi-criteria optimization problems", *SIAM J. Optim.*, Vol. 8, No.3, PP. 631– 657.
43. Messac, A., Sundararaj, G. J., Tappeta, R. V. and Renaud, J. E. (2000). "Ability of objective functions to generate points on nonconvex Pareto frontiers", *AIAA J.*, Vol. 38, No.6, PP. 1084– 1091.
44. Das, I. and Dennis, J. E. (1997). "A closer look at drawbacks of minimizing weighted sums of objectives for Pareto set generation in multi-criteria optimization problems", *Struct. Optim.*, Vol. 14, No.1, PP. 63– 69.
45. Miettinen, K. (1999). *Nonlinear Multi-objective Optimization*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
46. Ruiz-Canales, P. and Rufian-Lizana, A. (1995). "A characterization of weakly efficient points", *Math. Program.*, Vol. 68, No.1, PP. 205– 212.
47. Chankong, V. and Haimes, Y. Y. (1983). *Multi-objective Decision Making Theory and Methodology*, Elsevier Science Publishing, New York.
48. Carmichael, D. G. (1980). "Computation of Pareto optima in structural design", *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 15, No.6, PP. 925– 952.
49. Laumanns, M., Thiele, L. and Zitzler, E. (2006). "An efficient, adaptive parameter variation scheme for metaheuristics based on the epsilon-constraint method.", *European Journal of Operational Research*, Vol. 169, No. 3, PP. 932- 942.
50. Bérubé, J. F., Gendreau, M. and Potvin, J. Y. (2009). "An exact  $\epsilon$ -constraint method for bi-objective

combinatorial optimization problems: Application to the traveling salesman problem with profits”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 194. No. 1, PP. 39- 50.

## واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Charnes, Cooper & Rhodes (CCR)
2. Modified Data Envelopment Analysis (MDEA)
3. Simultaneous Data Envelopment Analysis (SDEA)