

# اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین با استفاده از مدل ترکیبی AHP و TOPSIS فازی (مطالعه موردی: صنعت پوشاک)

مجید نوجوان\*<sup>۱</sup>، مهرداد هاشمی فر<sup>۲</sup> و ابراهیم تیموری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

<sup>۳</sup> استادیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه علم و صنعت ایران

## چکیده

یک زنجیره تأمین منعطف باید پاسخگوی تغییرات بازار و نیازهای مشتری باشد تا بتواند در بازار رقابتی مشتریان را جذب کند؛ از این رو اندازه‌گیری میزان انعطاف‌پذیری یک زنجیره، کمک شایانی به مدیران در جهت برطرف کردن کمبودها و افزایش مزیت‌های رقابتی می‌کند. در این مقاله، برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، از یک مدل جامع استفاده شده است که شامل چهار بعد انعطاف‌پذیری منبع‌یابی، سیستم تولیدی، توزیع و سیستم اطلاعاتی است. در این مدل، برای تعیین وزن ابعاد و زیر ابعاد اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری از روش AHP فازی و برای رتبه‌بندی زنجیره‌های تأمین بر اساس شاخص‌های انعطاف‌پذیری از TOPSIS فازی استفاده شده است. از مدل پیشنهادی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری پنج زنجیره تأمین در صنعت پوشاک استفاده شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی این مدل پیشنهادی، در جهت اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری نشان می‌دهد که این مدل در عمل کارایی خوبی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره تأمین، انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، AHP فازی، TOPSIS فازی

## مقدمه

نقش حیاتی دارد. همچنین کاست و مالهوترا [۵] مروری جامع بر ادبیات انعطاف‌پذیری تولید داشته و چهار عنصر محدود، تعداد محدود، تغییرپذیری و یکنواختی را برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری سازمان در هر بعد ارائه کردند. استیونسون و اسپرینگ [۶] مشخص کردند که انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در سطحی بالاتر از انعطاف‌پذیری تولید قرار گرفته و از این رو همه اجزای داخلی انعطاف‌پذیری در سطح کارخانه و بنگاه و اجزای خارجی در سطح شبکه را شامل می‌شود. دوکلاس و همکاران [۷] یک مدل مفهومی برای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین ارائه کردند. اپریل و همکاران [۸] در تحقیق خود، ساختارهای متفاوتی از انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده و تولیدکننده را با توجه به شرایط تقاضای بازار و تمرکز تولیدکننده بررسی کردند. ناراسیمهان و همکاران [۹] در یک تحقیق تجربی و با استفاده از نظرات مدیران خرید کارخانه‌های تولیدی، دریافتند که انتخاب، توسعه و یکپارچگی تأمین‌کنندگان، یک عامل تعیین‌کننده در توانایی ایجاد تغییرات سریع در ساخت و تولید و ایجاد انعطاف‌پذیری است.

امروزه برای پاسخ‌گویی به تغییرات شتابان بازار رقابتی، باید انعطاف‌پذیری در همه فعالیت‌های عملیاتی زنجیره تأمین افزایش یابد؛ از این رو اندازه‌گیری و بهبود انعطاف‌پذیری زنجیره‌های تأمین، مورد توجه روزافزونی قرار گرفته است. اگر چه اغلب تحقیقات گذشته بر انعطاف‌پذیری تولید داخلی زنجیره تأمین متمرکز بوده‌اند، اما انعطاف‌پذیری فقط به تولید مربوط نمی‌شود و یک مفهوم چندبعدی است.

براون و همکاران [۱] ابتدا هشت بعد مختلف برای انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین معرفی کردند. پس از آن ستی و ستی [۲] این هشت بعد را به یازده بعد افزایش دادند. وکورا و کلی [۳] ابعاد انعطاف‌پذیری را به پانزده بعد شامل انعطاف‌پذیری ماشین، جریان مواد، عملیات، اتوماسیون، نیروی انسانی، فرآیند، مسیریابی، محصول، طراحی جدید، تحویل محصول، حجم، توسعه یا گسترش، برنامه، تولید و بازار افزایش دادند. همچنین آنها یک رابطه اقتضایی بین انعطاف‌پذیری تولید و عملکرد کارخانه ارائه دادند. آپتون [۴] تشریح کرد که انعطاف‌پذیری برای افزایش توان رقابتی زنجیره تأمین در یک بازار آشفته،

در این بخش، مدل پیشنهادی و ابزارهای مورد استفاده در آن، برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین تشریح شده است.

### مدل اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین

کالئونگ‌مون و همکاران [۱۶] یک مدل جامع برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین پیشنهاد کرده‌اند که در آن انعطاف‌پذیری به صورت توانایی سیستم در پاسخگویی به تغییرات داخلی و خارجی به منظور به دست آوردن یا حفظ مزیت رقابتی تعریف شده است. آنها برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، از چهار بعد استفاده کردند که توسط شرکت‌کنندگان زنجیره تأمین برای پاسخ‌گویی به چالش‌های بازار بی‌ثبات، مورد نیاز است.

اولین بعد انعطاف‌پذیری، انعطاف‌پذیری منبع‌یابی (SF) است که به صورت: "در دسترس بودن مواد و خدمات واجد شرایط و توانایی خرید مؤثر آنها در پاسخ به نیازهای متغیر" تعریف می‌شود. یافتن منابع، پیش‌نیاز فعالیت‌های کسب و کار اصلی شرکت است. عامل اصلی تعیین‌کننده انعطاف‌پذیری منبع‌یابی، آن است که چگونه یک شرکت به خوبی می‌تواند جریان تأمین بالادست خود را مدیریت کند.

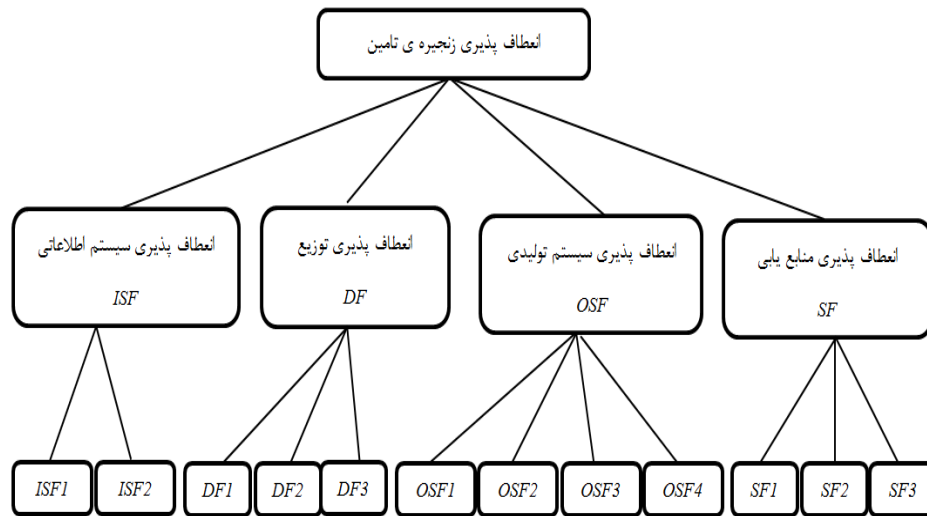
دومین بعد انعطاف‌پذیری، انعطاف‌پذیری سیستم تولید (OSF) است که به صورت: "توانایی به کارگیری مؤثر منابع به دست آمده برای تولید طیف گسترده‌ای از ویژگی‌ها، ترکیبات و حجم محصولات و خدمات با توجه به مشتری‌های مختلف به منظور رویارویی با نیازهای مختلف بازار" تعریف می‌شود. انعطاف‌پذیری سیستم تولید در سطح کارخانه بر انعطاف‌پذیری ماشین، نیروی انسانی، چیدمان و نظم و ترتیب مواد و فرآیند مسیریابی دلالت می‌کند.

انعطاف‌پذیری توزیع (DF) سومین بعد انعطاف‌پذیری است که به صورت: "توانایی زنجیره در کنترل حرکت و ذخیره‌سازی مواد، قطعات و کالاهای پایانی و یا خدمات در شرایط در حال تحول بازار" تعریف می‌شود. انعطاف‌پذیری توزیع، تولید و بازاریابی را با روان‌کردن جریان مواد ورودی و محصولات خروجی تسهیل می‌کند.

وادهوا و راتو [۱۰] با بررسی رابطه انعطاف‌پذیری و چابکی برای همگام‌سازی شرکت‌ها، بر مدیریت نوآوری به عنوان یک استراتژی مهم تأکید کردند. گاراولی [۱۱] اندازه انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را در سه سطح و به صورت انعطاف‌ناپذیر یا بدون انعطاف‌پذیری، انعطاف‌پذیری محدود و انعطاف‌پذیری کامل طبقه‌بندی کرد. لوماس [۱۲] مدلی مفهومی برای ارزیابی انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین ارائه کرد که در آن انعطاف‌پذیری کلی زنجیره تأمین حاصل ویژگی‌های سیستم‌های عملیاتی، فرایندهای لجستیکی و شبکه تأمین در هر بخش زنجیره تأمین است. تکسیرا و بریتو [۱۳] با استفاده از تئوری کشش، مدلی برای ارزیابی انعطاف‌پذیری ارائه کردند. شویی‌آبی و همکاران [۱۴] از آنتروپی برای ارزیابی انعطاف‌پذیری عملیاتی زنجیره تأمین استفاده کردند. فرانکاز و همکاران [۱۵] مدلی برای ارزیابی انعطاف‌پذیری استراتژیک فرآیند با توجه به تقاضا در طول چرخه عمر محصول ارائه کردند که در آن انعطاف‌پذیری فرآیند به دلیل کاهش تقاضای از دست رفته و افزایش بهره‌برداری از ظرفیت، باعث افزایش سود می‌شود. کالئونگ‌مون و همکاران [۱۶] نیز برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، یک رویکرد جامع پیشنهاد کردند که شامل چهار بعد انعطاف‌پذیری منابع، سیستم عملیاتی، توزیع و سیستم اطلاعاتی بوده و در هر بعد نیز چندین مؤلفه برای ارزیابی ابعاد وجود دارد. آنها از مدل خود برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری در صنعت پوشاک و نساجی چین استفاده و اعتبار آن را بررسی کردند.

در این مقاله برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، از مدل کالئونگ‌مون و همکاران [۱۶] استفاده شده است و با توجه به اینکه ابعاد و زیر ابعاد از انعطاف‌پذیری درجات اهمیت یکسانی ندارند، از مدل ترکیبی AHP و TOPSIS فازی برای رتبه‌بندی زنجیره‌های تأمین استفاده شده است. ساختار مقاله به این صورت است که ابتدا مدل و ابزارهای مورد استفاده تشریح شده است، سپس مراحل استفاده از مدل ترکیبی پیشنهادی تشریح و از این مدل برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری پنج زنجیره تأمین در صنعت پوشاک استفاده و نتایج آن بررسی شده است. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری آمده است.

### تشریح مدل و ابزارهای مورد استفاده



شکل ۱: ساختار سلسله‌مراتبی انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین

جدول ۱: شاخص‌های اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین

نام	کد	شاخص
انعطاف‌پذیری منبع‌یابی (SF)	SF1	تعداد تأمین‌کنندگان در دسترس
	SF2	محدوده محصولات و خدمات ارائه شده توسط تأمین‌کنندگان اصلی
	SF3	محدوده تأمین‌کنندگان که مواد اصلی / قطعات / محصولات را ارائه می‌دهند.
انعطاف‌پذیری سیستم‌تولیدی (OSF)	OSF1	محدوده محصولات یا خدمات جدید که شرکت می‌تواند در هر سال توسعه دهد.
	OSF2	توانایی تغییر حجم خروجی
	OSF3	توانایی تغییر ترکیب محصولات و خدمات
	OSF4	توانایی برای تنظیم و تعدیل تسهیلات تولید و فرآیندها
انعطاف‌پذیری توزیع (DF)	DF1	توانایی تغییر فضای انبار، ظرفیت بارگیری و سایر تسهیلات توزیع
	DF2	توانایی تغییر حالت تحویل
	DF3	قابلیت انتقال برنامه و زمان‌بندی تحویل
انعطاف‌پذیری سیستم‌اطلاعاتی (ISF)	ISF1	پشتیبانی سیستم‌های اطلاعاتی در مدیریت حمل و نقل و توزیع
	ISF2	پشتیبانی سیستم‌های اطلاعاتی در مدیریت موجودی شرکت

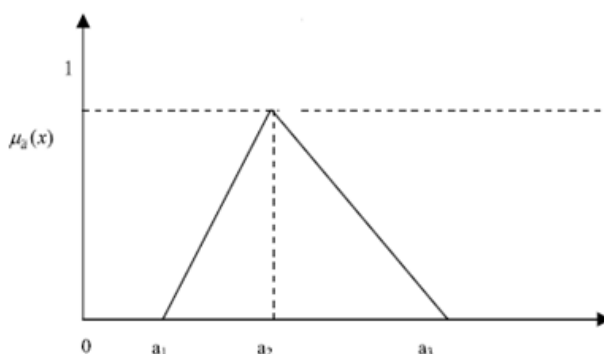
در نهایت چهارمین بعد انعطاف‌پذیری، انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی (ISF) است که نشان‌دهنده: "توانایی سیستم اطلاعاتی برای انطباق با شرایط در حال تغییر، بخصوص در شرایط اختلال غیرمنتظره" است. همراه با جریان فیزیکی محصولات در سراسر رده‌های مختلف زنجیره تأمین، اطلاعات باید به طور مرتب و با دقت در سراسر زنجیره منتقل شود. عنصر کلیدی انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی، توانایی سازمان برای راه‌اندازی یک سیستم اطلاعاتی مؤثر برای حمایت از عملیات، ارتباطات میان توابع مختلف داخلی یا ادارات و شرکای تجاری خارجی است. کالئونگ‌مون و همکاران [۱۶] برای اندازه‌گیری هر یک از ابعاد اصلی انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، از شاخص‌هایی استفاده کرده‌اند که مدل سلسله‌مراتبی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

در جدول ۱، شاخص‌های ارزیابی هر یک از ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین مشخص شده است. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص‌های بعد انعطاف‌پذیری منبع‌یابی و همچنین شاخص اول بعد انعطاف‌پذیری سیستم‌تولیدی از نوع کمی و به صورت قطعی بوده و سایر شاخص‌ها از نوع کیفی هستند.

## تئوری مجموعه‌های فازی

تئوری مجموعه‌های فازی، ابتدا توسط پروفیسور لطفی عسگرزاده [۱۷] ارائه شد. این تئوری قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی که نادقیق و مبهم هستند را به شکل ریاضی درآورده و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط نبود اطمینان فراهم آورد.

بسیاری از مدل‌ها، با مقادیر کمی و عددی سر و کار دارند که ابهام دارند و یکی از بهترین روش‌ها برای نشان دادن این ابهام، استفاده از اعداد فازی است. عدد فازی، یک مجموعه فازی نرمال شده محدب است که روی مقادیر حقیقی تعریف می‌شود. اعداد فازی ممکن است به شکل‌های مختلف تعریف شوند که در این میان، اعداد فازی مثلثی بیشترین کاربرد را در محاسبات فازی دارند. یک عدد فازی مثلثی (مثلاً  $M$ ) اغلب به صورت سه‌تایی مرتب  $M=(a_1, a_2, a_3)$  نشان داده می‌شود. شکل ۲ یک عدد فازی مثلثی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: یک عدد فازی مثلثی

اگر  $M_1=(l_1, m_1, u_1)$  و  $M_2=(l_2, m_2, u_2)$  دو عدد فازی مثلثی باشند، عملیات ریاضی روی این اعداد فازی به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۸]:

$$\begin{aligned} M_1 + M_2 &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \\ M_1 \times M_2 &= (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \\ M_1 - M_2 &= (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \\ M_1 \div M_2 &= (l_1 \div l_2, m_1 \div m_2, u_1 \div u_2) \\ M_1^{-1} &= \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

همچنین فاصله دو عدد فازی مثلثی نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d(M_1, M_2) = \frac{1}{\sqrt{3}} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2] \quad (2)$$

## فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که توسط ساعتی معرفی شده است، یکی از پرکاربردترین ابزارهای تصمیم‌گیری است [۱۹]. در روش AHP، فرایند تصمیم‌گیری شامل چهار مرحله ساختن سلسله مراتب، محاسبه اوزان نسبی با استفاده از ماتریس‌های مقایسه زوجی بررسی سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه اوزان نهایی است.

هر مسئله در AHP، به صورت یک سلسله مراتب نشان داده می‌شوند که اغلب شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها هستند. برای تعیین اوزان نسبی عناصر هر سطح، باید این عناصر نسبت به عنصر مرتبط با خود که در سطح بالاتر قرار دارند، به صورت زوجی مقایسه شوند. در نهایت با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی عناصر در پایین‌ترین سطح سلسله مراتب مشخص می‌شود.

پس از معرفی روش AHP قطعی، محققان زیادی این مدل را با استفاده از داده‌های فازی توسعه داده‌اند. باکلی و همکاران [۲۰] برای دست آوردن وزن‌ها در AHP فازی روشی ارائه دادند که در آن، مقایسات زوجی با استفاده از متغیرهای زبانی انجام گرفته و با تبدیل این مقادیر به اعداد فازی، از محاسبه میانگین هندسی هر یک از سطرهای جداول مقایسات زوجی استفاده می‌شود. در نهایت، اوزان فازی به دست آمده نرمال‌سازی می‌شوند. اگر چه وزن‌های به دست آمده در روش باکلی، شبه مثلثی و تابع درجه عضویت غیر خطی دارد، اما می‌توان آنها را با اعداد مثلثی تقریب زد. رابطه زیر، مقادیر اوزان مثلثی در روش باکلی را به صورت یک سه‌تایی مرتب نشان می‌دهند:

$$w_i = \left( \frac{\sqrt[n]{\prod_j l_{ij}}}{\max_i (\sqrt[n]{\prod_j u_{ij}})}, \frac{\sqrt[n]{\prod_j m_{ij}}}{\max_i (\sqrt[n]{\prod_j u_{ij}})}, \frac{\sqrt[n]{\prod_j u_{ij}}}{\max_i (\sqrt[n]{\prod_j u_{ij}})} \right) \quad (3)$$

در رابطه بالا  $n$  ابعاد ماتریس مقایسات زوجی و به ترتیب  $l_{ij}$ ،  $m_{ij}$ ،  $u_{ij}$  کران پایین، مقدار میانی و کران

یک و استفاده از رأس اعداد فازی و سپس محاسبه نسبت سازگاری است. در این حالت، اگر ماتریس مقایسه زوجی فازی با برش یک سازگار باشد، در حالت فازی هم سازگار است. همچنین در حالت وجود قضاوت‌های گروهی در AHP فازی برای ادغام نظرات خبرگان اغلب از میانگین هندسی قضاوت‌ها استفاده می‌شود.

### روش TOPSIS فازی

یکی از مهم‌ترین روش‌های حل مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM)، روش TOPSIS است که توسط هوانگ و یون [۲۲] ارائه شده است. در این روش هر مسئله که شامل  $m$  گزینه و  $n$  شاخص است، به صورت  $m$  نقطه در یک فضای  $n$  بعدی در نظر گرفته می‌شود و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس فاصله آنها از گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی انجام می‌شود. روش‌های متفاوتی برای در نظر گرفتن داده‌های فازی در روش TOPSIS پیشنهاد شده است. در این مقاله، برای نشان دادن مقادیر کمی از اعداد قطعی و برای امتیازدهی شاخص‌های کیفی از متغیرهای فازی و اعداد فازی مثلثی معادل آنها (جدول ۳) استفاده می‌شود [۲۳].

جدول ۳: متغیرهای فازی مورد استفاده در TOPSIS فازی

متغیر فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی کم	(۱،۱،۳)
کم	(۱،۳،۵)
متوسط	(۳،۵،۷)
زیاد	(۵،۷،۹)
خیلی زیاد	(۷،۹،۹)

گام‌های استفاده از روش TOPSIS فازی به این ترتیب است:

### گام اول: بی‌مقیاس‌سازی ماتریس

#### تصمیم‌گیری به روش خطی

ماتریس تصمیم‌گیری فازی به این ترتیب بی‌مقیاس می‌شود [۲۲]:

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad c_j^* = \max_i c_{ij} \quad j \in J \quad (6)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad j \in J'$$

بالای اعداد فازی در سطر  $i$  و ستون  $j$  ماتریس مقایسات زوجی است.

متغیرهای فازی و اعداد فازی معادل مورد استفاده در AHP فازی روش باکلی، در جدول ۲ نشان داده شده است [۲۱].

برای اندازه‌گیری میزان ناسازگاری قضاوت‌ها در ماتریس‌های مقایسات زوجی، ابتدا ماتریس مقایسات زوجی در بردار ستونی وزن نسبی ضرب می‌شود و بردار مجموع وزنی به دست می‌آید. سپس عناصر بردار مجموع وزنی بر بردار اولویت نسبی تقسیم و بردار سازگاری محاسبه می‌شود.

جدول ۲: متغیرهای فازی مورد استفاده در AHP فازی

عدد فازی مثلثی	مفهوم	مقدار قطعی
(۱،۱،۱)	ترجیح یکسان	۱
(۲،۳،۴)	کمی مرجح	۳
(۴،۵،۶)	خیلی مرجح	۵
(۶،۷،۸)	خیلی زیاد مرجح	۷
(۹،۹،۹)	کاملاً مرجح	۹
(۱،۲،۳)	مقادیر بینابینی	۲
(۳،۴،۵)		۴
(۵،۶،۷)		۶
(۷،۸،۹)		۸

در نهایت با استفاده از میانگین عناصر بردار، حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسه زوجی ( $\lambda_{max}$ ) محاسبه می‌شود. در این حالت، شاخص ناسازگاری (I.I) از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

برای محاسبه نسبت سازگاری (I.R) باید شاخص سازگاری (I.I) بر شاخص ناسازگاری ماتریس‌های کاملاً تصادفی (I.I.R) به صورت زیر تقسیم شود:

$$I.R = \frac{I.I}{I.I.R_{n \times n}} \quad (5)$$

اگر در یک ماتریس مقایسه زوجی، نسبت سازگاری کمتر یا مساوی ۰/۱ باشد، آن ماتریس سازگار است. برای اندازه‌گیری نسبت سازگاری در ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی، روش‌های زیادی پیشنهاد شده است. یکی از ساده‌ترین روش‌ها، قطعی کردن اعداد فازی مثلثی با برش

در این مقاله، برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین سازمان‌ها، از مدل کالئونگ‌مون و رویکرد ترکیبی AHP و TOPSIS فازی استفاده شده است. مراحل اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در مدل پیشنهادی به این ترتیب است:

مرحله ۱: شناسایی زنجیره تأمین و خبرگان و جمع‌آوری داده‌ها  
 مرحله ۲: تعیین وزن ابعاد و زیر ابعاد از طریق AHP فازی  
 مرحله ۳: رتبه‌بندی زنجیره تأمین با استفاده از TOPSIS فازی  
 مرحله ۴: تحلیل نتایج برای بهبود انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در ادامه، مراحل استفاده از مدل پیشنهادی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در صنعت پوشاک آورده شده است.

### مرحله ۱: شناسایی زنجیره تأمین و خبرگان و جمع‌آوری داده‌ها

از مدل پیشنهادی برای ارزیابی میزان انعطاف‌پذیری ۵ شرکت تولیدکننده پوشاک استفاده شده است که فعالیت عمده آنها تولید پیراهن، لباس بچه‌گانه و لباس زیر است. داده‌های مورد نیاز از طریق پخش پرسشنامه میان ۵ خبره که اغلب مدیران عامل این شرکت‌ها بوده‌اند، انجام شده است.

### مرحله ۲: تعیین وزن ابعاد و زیر ابعاد از طریق AHP فازی

در این مرحله، پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها به ماتریس مقایسات زوجی تبدیل شده و نرخ ناسازگاری هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه شده است. با توجه به اینکه شاخص ناسازگاری همه ماتریس‌ها کمتر از ۰/۱ بوده است، نیازی به اصلاح قضاوت‌ها نیست. با توجه به گروهی بودن تصمیم‌گیری، برای ادغام نظرات خبرگان در ماتریس مقایسات زوجی، از میانگین هندسی استفاده شده است. سپس با استفاده از روش باکلی، وزن نسبی ابعاد و زیر ابعاد (شاخص‌ها) محاسبه و با استفاده از آن، وزن نهایی شاخص‌های انعطاف‌پذیری محاسبه شده است. جداول ۴ تا ۸ ماتریس‌های مقایسه زوجی ادغامی و همچنین اوزان نسبی و نهایی ابعاد و زیرابعاد (شاخص‌ها) را نشان می‌دهد.

در رابطه بالا  $J$  و  $J'$  به ترتیب مجموعه شاخص‌های مثبت (سود) و منفی (هزینه) و  $\tilde{r}_{ij}$  امتیاز بی‌مقیاس شده گزینه  $i$  در شاخص  $J$  است.

### گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس وزین

ماتریس تصمیم‌گیری فازی بی‌مقیاس شده، به این ترتیب به شکل موزون تبدیل می‌شود [۲۳]:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_j \cdot \tilde{r}_{ij} \quad (7)$$

در رابطه بالا  $\tilde{v}_{ij}$  امتیاز بی‌مقیاس وزین گزینه  $i$  در شاخص  $J$  و  $\tilde{w}_j$  وزن شاخص  $J$  است.

### گام سوم: تعیین گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی

گزینه ایده‌آل مثبت ( $A^+$ ) و ایده‌آل منفی ( $A^-$ ) به این ترتیب مشخص می‌شوند [۲۴]:

$$\begin{aligned} A^+ &= (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \\ A^- &= (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \\ \tilde{v}_j^* &= (a_j^*, b_j^*, c_j^*) \\ a_j^* &= \max\{a_{ij}\} \quad b_j^* = \max\{b_{ij}\} \quad c_j^* = \max\{c_{ij}\} \\ \tilde{v}_j^- &= (a_j^-, b_j^-, c_j^-) \\ a_j^- &= \min\{a_{ij}\} \quad b_j^- = \min\{b_{ij}\} \quad c_j^- = \min\{c_{ij}\} \end{aligned} \quad (8)$$

### گام چهارم: محاسبه فاصله هر گزینه تا گزینه‌های ایده‌آل مثبت و منفی

فاصله هر گزینه تا گزینه ایده‌آل مثبت ( $D_i^+$ ) و همچنین فاصله گزینه تا گزینه ایده‌آل منفی ( $D_i^-$ ) به این ترتیب محاسبه می‌شود [۲۳]:

$$\begin{aligned} D_i^+ &= \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - v_i^+) \quad i = 1, \dots, n \\ D_i^- &= \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - v_i^-) \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

گام پنجم: محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه نزدیکی نسبی هر گزینه به گزینه ایده‌آل مثبت ( $CC_i^+$ ) از رابطه زیر محاسبه و گزینه‌ها بر اساس کاهش مقدار نزدیکی نسبی رتبه‌بندی می‌شوند.

$$CC_i^+ = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad i = 1, \dots, n \quad (10)$$

### مدل پیشنهادی

جدول ۴: ماتریس مقایسات زوجی ابعاد انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین

	SF	OSF	DF	ISF
SF	(۱,۱,۱)	(۰/۰,۲/۰,۲/۳)	(۰/۰,۴/۰,۵/۸)	(۰/۰,۲/۰,۳/۴)
OSF	(۵,۴/۶,۱/۱)	(۱,۱,۱)	(۴,۳/۵,۱/۲)	(۱/۲,۶/۳,۴)
DF	(۱/۱,۲/۲,۹/۹)	(۰/۱,۰/۲,۰/۳)	(۱,۱,۱)	(۰/۰,۳/۰,۴/۶)
ISF	(۲/۳,۷/۳,۴/۹)	(۰/۰,۳/۰,۴/۶)	(۱/۲,۶/۳,۶/۳)	(۱,۱,۱)
وزن نهایی	(۰/۰,۱/۰,۱/۳)	(۰/۰,۷/۱,۹)	(۰/۲,۰/۲,۰/۳)	(۰/۰,۴/۰,۵/۵)

جدول ۵: ماتریس مقایسات زوجی ابعاد انعطاف‌پذیری منابع یابی

	SF1	SF2	SF3
SF1	(۱,۱,۱)	(۴/۵,۸/۶,۸/۸)	(۵/۶,۳/۷,۴/۴)
SF2	(۰/۱,۰/۲,۰/۲)	(۱,۱,۱)	(۰/۰,۶/۱,۹/۴)
SF3	(۰/۱,۰/۲,۰/۳)	(۰/۱,۷/۱,۱/۸)	(۱,۱,۱)
وزن نسبی	(۰/۰,۸/۱,۹)	(۰/۱,۰/۱,۰/۲)	(۰/۱,۰/۰,۲/۲)
وزن نهایی	(۰/۰,۰,۸/۰,۱۲/۱۷)	(۰/۰,۱,۰/۰,۲,۰/۰,۳)	(۰/۰,۱,۰/۰,۲,۰/۰,۳)

جدول ۶: ماتریس مقایسات زوجی ابعاد انعطاف‌پذیری سیستم تولیدی

	OSF1	OSF2	OSF3	OSF4
OSF1	(۱,۱,۱)	(۰/۱,۹/۱,۱/۷)	(۰/۹,۱/۲,۱/۸)	(۲/۳,۳/۴,۴/۵)
OSF2	(۰/۰,۶/۱,۹/۳)	(۱,۱,۱)	(۱,۱/۲,۱/۳)	(۲,۲/۳,۸/۸)
OSF3	(۰/۶,۰/۹,۱/۱)	(۰/۸,۰/۹,۱)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۶/۲,۱/۷)
OSF4	(۰/۲,۰/۳,۰/۴)	(۰/۲,۰/۴,۱)	(۰/۴,۰/۵,۰/۶)	(۱,۱,۱)
وزن نسبی	(۰/۶,۰/۸,۱)	(۰/۶,۰/۷,۰/۸)	(۰/۵,۰/۶,۰/۷)	(۰/۲,۰/۳,۰/۴)
وزن نهایی	(۰/۰,۴/۱,۷)	(۰/۴,۰/۶,۰/۸)	(۰/۳,۰/۵,۰/۷)	(۰/۱,۰/۲,۰/۴)

جدول ۷: ماتریس مقایسات زوجی ابعاد انعطاف‌پذیری توزیع

	DF1	DF2	DF3
DF1	(۱,۱,۱)	(۰/۰,۱۸/۰,۲۳/۳۲)	(۰/۰,۳۷/۰,۴۷/۶۵)
DF2	(۳/۴,۱۳/۵,۳۲/۴۳)	(۱,۱,۱)	(۱/۱,۵۵/۲,۹۵/۴)
DF3	(۱/۲,۵۳/۲,۱۱/۶۶)	(۰/۰,۴۲/۰,۵۱/۶۴)	(۱,۱,۱)
وزن نسبی	(۰/۲,۰/۲,۰/۳)	(۰/۰,۷/۱,۹)	(۰/۰,۴/۰,۴/۵)
وزن نهایی	(۰/۰,۳,۰/۰,۴,۰/۰,۷)	(۰/۰,۱۱/۰,۱۹/۲۹)	(۰/۰,۰۵/۰,۰۹/۱۵)

جدول ۸: ماتریس مقایسات زوجی ابعاد انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی

	ISF1	ISF2
ISF1	(۱,۱,۱)	(۴/۵,۷۴/۶,۷۵/۷۶)
ISF2	(۰/۰,۱۵/۰,۱۷/۲۱)	(۱,۱,۱)
وزن نسبی	(۲/۲,۲/۲,۴/۶)	(۰/۴,۰/۴,۰/۵)
وزن نهایی	(۰/۰,۲۹/۰,۴۳/۵۲)	(۰/۰,۰۵/۰,۰۷/۰۹)

جدول ۹: ماتریس تصمیم‌گیری زنجیره‌های تأمین

	SCM1	SCM2	SCM3	SCM4	SCM5
SF1	۱۰۰	۸۰	۱۲۰	۱۶۰	۱۰۰
SF2	۴۰	۳۰	۶۰	۷۰	۵۰
SF3	۳۰	۳۰	۴۰	۸۰	۶۰
OSF1	۶۰	۵۰	۶۰	۷۰	۶۰
OSF2	(۵,۷,۹)	(۳,۵,۷)	(۵,۷,۹)	(۹,۷,۷)	(۹,۷,۵)
OSF3	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۵,۷,۹)
OSF4	(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۵,۷,۹)	(۳,۵,۷)
DF1	(۱,۱,۳)	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)
DF2	(۱,۳,۵)	(۱,۱,۳)	(۱,۱,۳)	(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)
DF3	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)
ISF1	(۱,۱,۳)	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۱,۱,۳)
ISF2	(۵,۷,۹)	(۳,۵,۷)	(۷,۹,۹)	(۷,۹,۹)	(۵,۷,۹)

جدول ۱۰: رتبه‌بندی گزینه‌ها

	SCM1	SCM2	SCM3	SCM4	SCM5
$V_j^+$	۰/۹	۱/۱۳	۰/۶۷	۰/۱۶	۰/۶۲
$V_j^-$	۰/۴	۰/۱۵	۰/۶۳	۱/۱۲	۰/۶۹
$CC_i$	۰/۳	۰/۱۲	۰/۴۸	۰/۸۷	۰/۵۳
رتبه	۴	۵	۳	۱	۲

شاخص است، اما زنجیره‌های تأمین هر ۵ شرکت مورد بررسی، توانایی پایینی در این مورد دارند. مدیران می‌توانند با نگاه ویژه به این بعد و به کارگیری فناوری اطلاعات (IT) برای انطباق با شرایط در حال تغییر بازار، میزان انعطاف‌پذیری را به طور چشم‌گیری افزایش داده و در نتیجه سهم بیشتری از مشتریان را در بازار رقابتی امروزی به دست آورند.

### نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری، عنصر پایه‌ای برنامه‌ریزی، کنترل و تصمیم‌گیری مؤثر است. برای محیط در حال تغییر، انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین، عاملی حیاتی است که بر رقابت‌پذیری سازمان‌ها تأثیر چشمگیری دارد. در این حالت، اندازه‌گیری میزان انعطاف‌پذیری سازمان‌ها می‌تواند کمک مؤثری به مدیران برای بازنگری و بهبود اهداف و فرآیندهای تجاری فعلی سازمان کند. در این مقاله، با استفاده از چهارچوب معرفی شده توسط کالئونگ‌مون و به کارگیری مدل ترکیبی AHP و TOPSIS فازی، زنجیره‌های تأمین بر اساس انعطاف‌پذیری، رتبه‌بندی

### مرحله ۳: رتبه‌بندی زنجیره تأمین با استفاده از TOPSIS فازی

در این مرحله، ابتدا با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از خبرگان ماتریس تصمیم‌گیری که در جدول ۹ نشان داده شده است و سپس با استفاده از روش TOPSIS فازی (که قبلاً تشریح شده است) رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود. جدول ۱۰ نتایج استفاده از این روش را نشان می‌دهد.

### مرحله ۴: تحلیل نتایج برای بهبود انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین

با توجه به نتایج به دست آمده از اجرای مدل پیشنهادی، مشخص می‌شود که در زنجیره‌های تأمین مورد بررسی، انعطاف‌پذیری سیستم تولیدی، مهم‌ترین و انعطاف‌پذیری منابع‌یابی، کم‌اهمیت‌ترین بعد در زنجیره تأمین مورد بررسی است. نکته قابل توجه در میان خروجی‌ها این است که شاخص اول بعد انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی، از مهم‌ترین شاخص‌ها در میان ۱۲



فرآیندهای اجرایی، از نکات قابل توجه نتایج به دست آمده از کاربرد مدل است. به عنوان تحقیقات بعدی، می‌توان با استفاده از ابزارهای آماری همچون معادلات ساختاری چهارچوب مشخص شده را در سایر صنایع مورد آزمون و اعتبارسنجی قرار داده و از آن برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری سایر صنایع استفاده کرد.

می‌شود. از مدل پیشنهادی برای اندازه‌گیری انعطاف‌پذیری و رتبه‌بندی پنج زنجیره تأمین در صنعت تولید پوشاک استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از کاربرد مدل پیشنهادی، مشخص شده است که انعطاف‌پذیری سیستم تولیدی، مهم‌ترین بعد در میان ابعاد چهارگانه است. همچنین پراهمیت بودن بعد انعطاف‌پذیری سیستم اطلاعاتی و در عین حال بی‌توجهی به این بعد در

## مراجع

- 1- Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S.P. and Stecke, K.E. (1984). "Classification of flexible manufacturing systems." *Flexible Manufacturing Systems Magazine*, Vol. 2, No. 2, PP. 114-117.
- 2- Sethi, A.K. and Sethi, S.P. (1990). "Flexibility in manufacturing: a survey." *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 2, No. 4, PP. 289-328.
- 3- Vokurka, R.J. and O Leary-Kelly, S. (2000). "A review of empirical research on manufacturing flexibility." *Journal of Operations Management*, Vol. 16, No. 4, PP. 361-38.
- 4- Upton, D. (1994). "The management of manufacturing flexibility." *California Management Review*, (Winter), PP. 72-89.
- 5- Koste, L. L. and Malhotra, M. K. (1999). "A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility." *Journal of Operations Management*, Vol. 18 No. 1, PP. 75-93.
- 6- Stevenson, M. and Spring, M. (2007). "Flexibility from a supply chain perspective: definition and review." *International Journal of Operation & Production Management*, Vol. 27, No. 7, PP. 685-713.
- 7- Duclos, L. K., Vokurka, R. J. and Lummus, R. R. (2003). "A conceptual model of supply chain flexibility." *Journal of Industrial Management & Data Systems*, Vol. 103, No. 6, PP. 446-456.
- 8- Aprile, D., Garavelli, A. C. and Giannoccaro, I. (2005). "Operation planning and flexibility in a supply chain." *Journal of Production Planning and Control*, Vol. 16, No. 1, PP. 21-31.
- 9- Narasimhan, R. and Das, A. (2000). "Manufacturing agility and supply chain management practices." *The Journal of Enterprise Resource Management- Australasian Production and Inventory Control Society*, Vol. 3, No. 3, PP. 11-17.
- 10- Wadhwa, S. and Rao, K.S. (2003). "Flexibility and agility for enterprise synchronization: Knowledge and innovation management towards flexibility." *Studied in Informatics and Control*, Vol. 21, No. 2, PP. 111- 128.
- 11- Garavelli, A.C. (2003). "Flexibility configurations for the supply chain management." *International Journal of Production Economics*, Vol. 85, PP. 141-153.
- 12- Lummus, R.R., Duclos, L.K. and Vokurka, R.J. (2003). "Supply chain flexibility: building a new model." *Global Journal of Flexible Systems Management*, Vol. 4, No. 4, PP. 1-13.
- 13- Manuel Feliz Teixeira, J. and Brito, A. (2004). "On Measuring the Supply Chain Flexibility." *At the proceedings of The European Simulation and Modeling Conference*, Paris, PP. 25-27.
- 14- Shuiabi, E., Thomson, V. and Bhuiyan, N. (2005). "Entropy as a measure of operational flexibility." *European Journal of Operational Research*, Vol. 165, PP. 696-707.
- 15- Francas, D., Kremer, M. and Minner, S. (2009). "Strategic process flexibility under lifecycle demand." *International Journal Production Economics*, Vol. 121, No. 2, PP. 427- 440.

- 16- Ka-Leung Moon, K., Ying Yi, C. and Ngai, E.W.T. (2012). "An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies." *European Journal of Operational Research*, Vol. 222, PP. 191-203.
  - 17- Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets." *Information and Control*, Vol. 8, No. 3, PP. 338–353.
  - 18- Zimmermann HJ. (1992). "*Fuzzy set theory and its applications*." Kluwer, Boston.
  - 19- Saaty, T. L. (1980). "*The Analytic Hierarchy Process*", Mc Graw-Hill, New York.
  - 20- Buckley, J.J. (1985). "Fuzzy hierarchical analysis." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 17, PP. 233-247.
  - 21- Paksoy, T., Pehlivan, N.Y. and Kahraman, C. (2012). "Organizational strategy development in distribution channel management using fuzzy AHP and hierarchical fuzzy TOPSIS." *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, PP. 2822-2841.
  - 22- Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). "*Multiple Attribute Decision Making Methods and Application.s*" Springer-Verlag, Berlin.
  - 23- Awasthi, A., Chauhan, S.S. and Goyal, S.K. (2011). "A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty." *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 53, PP. 98-109.
  - 24- Hatami-Marbini, A., Saati, S. and Makui, A. (2010). "Ideal and anti-ideal decision making units: A fuzzy DEA approach." *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 6, No. 10, PP.31-41.
-