





دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

مدیریت صنعتی، گرایش تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد

خودارزیابی عملکرد سازمان با مدل های تحلیل پوششی داده های شبکه ای فازی

شهودی

(مطالعه موردی سیم و کابل مغان)

زهرا عامری

استاد راهنما:

دکتر رضا شیخ

استاد مشاور:

دکتر مجتبی غیاثی

بهمن ۱۳۹۶



تقدیم به پدر و مادرم،

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیحت ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان
بیاسیم و از ریشه آنها شاخ و برگ بگیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس
از پروردگاریه، هستی ام بوده اند و دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب به

من آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تخمه درویش

تقدیم آنان....



سپاسگزاری

سپاس و ستایش خداوندی را سزاست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش پوشانید و تجلیات قدرت لایزال را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید.

از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر رضاشیخ (استاد اهنما) که در کلیه مراحل انجام این پژوهش با خوشروئی، یاری و راهنمایی ام نمودند و همچنین از استاد فریخته جناب آقای دکتر مجتبی غیاثی (استاد مشاور) که وقت خود را بی ثوابه در اختیار من گذاشته و با دقت نظر خاصی مشاوره لازم در این خصوص ارائه نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب زهرا عامری دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان نامه با عنوان "خودارزیابی عملکرد سازمان با مدل های تحلیل پوششی داده های شبکه ای فازی شهودی (مطالعه موردی سیم و کابل مغان)"، تحت راهنمایی دکتر رضا شیخ متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های دیگر پژوهش گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان نامه، تاکنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد، و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

زهرا عامری

بهمن ۱۳۹۶

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی باشد.

چکیده

مطالعات نشان می‌دهد که مفروضات تمامی تکنیک‌های تحلیل پوششی داده‌های معرفی شده، مبتنی بر سنجش کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده نسبت به واحدهای مشابه است. شرایط متفاوت و غیرقابل کنترل برای هر واحد تصمیم‌گیرنده می‌تواند یکی از دلایل کم اعتبار بودن نتایج حاصل از ارزیابی باشد. خودارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده بهترین نوع ارزیابی است که با در نظر گرفتن حداکثر ثبات شرایط به عنوان یکی از نوآوری‌های این تحقیق بدان اشاره شده است. فعالیت سیستم‌های تولیدی و خدماتی به صورت شبکه‌ای در محیط عدم‌اطمینان به عنوان یکی از شاخص‌های بارز برخی از سازمان‌ها می‌باشد. هدف این تحقیق اندازه‌گیری کارایی این نوع موسسات براساس تکنیک تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی شهودی با رویکرد جدید خودارزیابی است که براساس نتایج تحقیق، کارایی واحدهای شرکت سیم و کابل مغان در دوره‌های زمانی مختلف مشخص شد و مورد تحلیل و تفسیر مدیریتی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: خودارزیابی، تحلیل پوششی داده‌ها، سیستم‌های تولید سری- موازی (شبکه‌ای)،

تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی شهودی

فهرست مقالات مستخرج از پایان نامه

❖ "خودارزیابی سیستم‌های تولید شبکه‌ای در محیط‌های فازی شهودی (مطالعه موردی: شرکت

سیم و کابل مغان)"، تحت داوری

- ❖ Efficiency measurement for parallel production systems based on Intuitionistic Fuzzy Data Envelopment Analysis"- The 10th International Conference Of Iranian Ooperations Research Society.
- ❖ "Self-assesment of parallel service systems with intuitionistic fuzzy data: case of the Imam Khomeini hospital".

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات طرح	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ بیان مسأله	۴
۳-۱ نوآوری تحقیق	۶
۴-۱ اهداف تحقیق	۷
۵-۱ سؤالات تحقیق	۸
۶-۱ قلمرو موضوعی، مکانی، زمانی	۸
۷-۱ کاربردهای تحقیق	۸
۸-۱ تعریف مفاهیم و اصطلاحات تخصصی	۹
فصل دوم: ادبیات و پیشینه تحقیق	۱۳
۱-۲ مقدمه	۱۴
۲-۲ بررسی ادبیات تکنیک تحلیل پوششی دادهها	۱۴
۱-۲-۲ رویکرد تحلیل پوششی دادههای استاندارد	۱۷
۲-۲-۲ رویکرد تئوری بازی	۱۷
۳-۲-۲ رویکرد تحلیل پوششی دادههای شبکههای	۱۷
۴-۲-۲ رویکرد تجزیه کارایی	۱۸
۳-۲-۲ انواع سیستمهای شبکههای	۱۹
۱-۳-۲ سیستمهای تولید موازی	۲۲
۲-۳-۲ سیستمهای تولید سری	۲۵
۳-۳-۲ سیستمهای تولید چند مرحلهای کلی	۲۷
۴-۲ مجموعههای فازی شهودی	۳۱
۱-۴-۲ تعاریف مفاهیم قطعی، فازی و فازی شهودی	۳۳
۱-۱-۴-۲ مجموعه قطعی	۳۳
۲-۱-۴-۲ مجموعه فازی	۳۴
۳-۱-۴-۲ مجموعه فازی شهودی	۳۵

۴۶	..... مرور ادبیات اندازه‌گیری عملکرد در محیط‌های فازی و فازی شهودی
۴۹	..... ۶-۲ توسعه تحلیل پوششی داده‌های قطعی به تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی
۴۹	..... ۱-۶-۲ تحلیل پوششی داده‌ها (DAE)
۵۰	..... ۲-۶-۲ تحلیل پوششی داده‌های فازی (FDEA)
۵۱	..... ۳-۶-۲ تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی (IFDEA)
۵۲	..... ۴-۶-۲ روشی برای حل مدل IFDEA
۵۵	..... فصل سوم: روش‌شناسی تحقیق
۵۶	..... ۱-۳ مقدمه
۵۸	..... ۲-۳ روش‌ها و ابزارهای جمع‌آوری اطلاعات
۵۹	..... ۳-۳ ارائه مدل موازی با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی شهودی
۶۴	..... ۴-۳ ارائه مدل سری با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی شهودی
۷۰	..... ۵-۳ ارائه مدل شبکه‌های چند مرحله‌ای (سری- موازی) با کمک تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی شهودی
۷۴	..... ۶-۳ روشی برای حل مدل خودارزایی سری- موازی فازی شهودی
۸۱	..... فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده‌ها
۸۲	..... ۱-۴ مقدمه
۸۲	..... ۲-۴ روش تحقیق
۸۳	..... ۳-۴ مطالعه موردی
۸۴	..... ۱-۳-۴ مراحل تولید محصول در شرکت مورد مطالعه
۸۷	..... ۲-۳-۴ معرفی محصول
۸۷	..... ۴-۴ مدل شبکه‌های برای شرکت تولیدی سیم و کابل مغان در محیط فازی شهودی
۸۸	..... ۱-۴-۴ مدلسازی خط تولید شرکت سیم و کابل مغان
۱۰۱	..... فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات
۱۰۲	..... ۱-۵ مقدمه
۱۰۲	..... ۲-۵ نتیجه‌گیری
۱۰۴	..... ۳-۵ محدودیت‌های تحقیق

۴-۵ پیشنهادات کاربردی ۱۰۴

۵-۵ پیشنهادات برای مطالعات آتی ۱۰۵

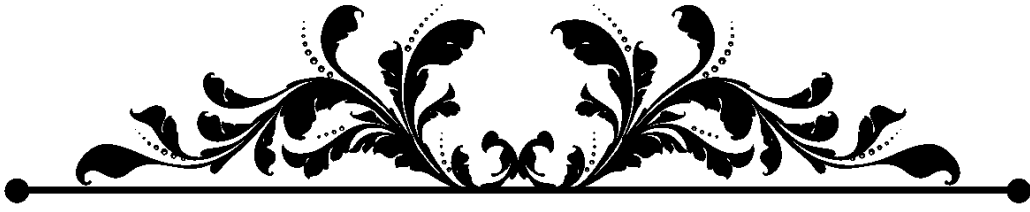
منابع و مأخذ ۱۰۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲): ساختار چند مرحله‌ای کلی	۲۱
شکل (۲-۲): ساختار موازی با q فرآیند تولید	۲۴
شکل (۳-۲): ساختار سری با q فرآیند	۲۶
شکل (۴-۲): مثالی از یک سیستم چند مرحله‌ای کلی	۲۹
شکل (۵-۲): سری - موازی تبدیل شده از مثال سیستم چند مرحله‌ای کلی	۳۱
شکل (۶-۲): توابع عضویت و عدم‌عضویت عدد فازی شهودی مثلثی	۳۹
شکل (۷-۲): نمایش گرافیکی سه‌بعدی مجموعه‌های فازی شهودی	۴۲
شکل (۸-۲): نمایش گرافیکی دوبعدی مجموعه‌های فازی شهودی	۴۳
شکل (۹-۲): ارتباط متقابل میان مجموعه‌های کلاسیک، فازی و فازی شهودی	۴۴
شکل (۱۰-۲): مقایسه میان عناصر متعلق به مجموعه کلاسیک، فازی و فازی شهودی	۴۵
شکل (۱-۳): فرآیند تولید محصول در شرکت سیم و کابل مغان	۷۲
شکل (۲-۳): سیستم سری - موازی تبدیل شده از سیستم شبکه‌ای کلی شرکت سیم و کابل مغان	...
	۷۳

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۴): داده‌های ورودی و خروجی قطعی و فازی شهودی سیستم تولیدی سیم و کابل مغان.....	۸۹
جدول (۲-۴): وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها، خروجی‌ها و تولیدات میانی بخش اول.....	۹۴
جدول (۳-۴): وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها، خروجی‌ها و تولیدات میانی بخش دوم.....	۹۴
جدول (۴-۴): وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها و خروجی‌های بخش سوم.....	۹۵
جدول (۵-۴): وزن‌های فازی شهودی برای خروجی‌های نامطلوب بخش سوم.....	۹۵
جدول (۶-۴): نتایج کارایی در محیط فازی شهودی برای سیستم تولیدی سیم و کابل مغان.....	۱۰۰



فصل اول: مقدمه و کلیات طرح

۱-۱ مقدمه

اهمیت سنجش کارایی و ارزیابی عملکرد سازمان‌ها سبب توجه تعداد زیادی از محققان به بررسی و تحلیل مدل‌های گوناگون ارزیابی عملکرد گردید. معمولاً در این بررسی‌ها سیستم شبکه‌ای با ورودی‌ها و خروجی‌های قطعی تحلیل می‌شود، اما چنانچه بعضی داده‌ها ماهیت قطعی نداشته باشند نمی‌توان از مدل‌های موجود استفاده کرد. بنابراین داده‌های ناشناخته و مبهم درباره ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم-ها چالش عدم قطعیت برای تصمیم‌گیرندگان را ایجاد می‌کند. در سال‌های اخیر به دلیل گسترش سازمان‌ها طراحی سیستم‌های تولیدی و خدماتی به صورت شبکه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با وجود چنین سیستم‌هایی تعیین کارایی کل و زیر واحدها یک امر حیاتی است. در این میان تعیین مقدار داده‌هایی که ماهیت قطعی ندارند دارای اهمیت بسیار می‌باشد. چرا که این مشاهدات در دسترس نیستند و باید برآورد و یا پیش‌بینی شوند. بنابراین پیچیدگی در مدل‌سازی یک موقعیت واقعی در محیط عدم-اطمینان به علت وجود برخی اطلاعات غیرقابل شناسایی افزایش یافته است. به این مفهوم که مدل‌های سنتی به تنهایی قادر به اعمال دقت و قطعیت منطق ریاضی کلاسیک نیستند. در برخی از موارد، در نظر نگرفتن عدم قطعیت در مسائل برنامه‌ریزی برای اندازه‌گیری کارایی باعث تصمیم‌گیری‌های نادرست می‌شود.

ارزیابی عملکرد به عنوان یک کاربرد برجسته از تحقیق در عملیات مطرح شده است. از ابتدای پیدایش مطالعات کلاسیک در زمینه ارزیابی عملکرد که به نیمه دوم قرن بیستم برمی‌گردد، مباحث سنجش کارایی و تصمیم‌گیری براساس آن‌ها از مشغله‌های فکری مدیران بوده است و تاکنون تلاش‌های گسترده‌ای در این زمینه انجام گرفته و مدل‌های مختلفی برای سنجش کارایی ارائه شده است. اکثر مدل‌هایی که در ابتدا مطرح شدند مدل‌های نسبتاً ساده‌ای بودند و تا حد امکان داده‌های مدل را به طور قطعی در نظر می‌گرفتند، ولی دنیای واقعی پیچیده است؛ بنابراین به دست آوردن داده‌ها و اطلاعات معین

و قطعی از آن بسیار مشکل خواهد بود. تئوری مجموعه‌های فازی که در سال ۱۹۶۵ میلادی مطرح شد، برای حل مسائلی است که در آن‌ها تشریح فعالیت‌ها و رویدادها به‌طور قطعی امکان‌پذیر نبوده است. یکی از مسائلی که در زمینه مدیریت و تصمیم‌گیری مشمول این ابهام و عدم قطعیت است، موضوع ارزیابی عملکرد است که اغلب داده‌های لازم برای آن در دنیای واقعی به شکل مبهم و غیرقطعی است.

تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یکی از فراگیرترین تکنیک‌های سنجش کارایی و ارزیابی عملکرد سازمان می‌باشد که توسط چارلز و همکاران (۱۹۷۸) پیشنهاد شد. یکی از ضعف‌های مدل ارائه شده توسط آنها در نظر نگرفتن ساختارهای درونی سیستم در اندازه‌گیری عملکرد بود؛ در واقع مدل آنها توانایی اندازه‌گیری کارایی در سیستم‌های شبکه‌ای را به صورت دقیق نداشت. سیستم‌هایی که با بیشتر از یک فرآیند به یکدیگر متصل شده‌اند شبکه نامیده می‌شوند. برای اندازه‌گیری کارایی یک سیستم شبکه‌ای، مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای مورد نیاز است. مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای یک شکل استاندارد ندارد و به ساختار شبکه در سوال وابسته است.

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای قطعی علیرغم سادگی و کارایی بالا در شرایط گوناگون، به جهت در نظر نگرفتن بی‌دقتی و عدم اطمینان ذاتی و شرایط متغیر محیط اغلب مورد انتقاد قرار گرفته است. در این روش‌ها نظرات تصمیم‌گیرندگان در قالب یک عدد قطعی بیان می‌شود، اما این کار ممکن است به دلیل وجود ابهام و عدم اطمینان در ارزیابی چندان مطلوب نباشد. چرا که بسیاری از معیارها ذاتاً کیفی و ذهنی بوده و برای تصمیم‌گیرنده اختصاص یک عدد کمی مطلق و قطعی غیرممکن است، به همین دلیل افراد ترجیح می‌دهند از اعداد فاصله‌ای یا فازی بدین منظور استفاده کنند.

همان‌طور که عدم قطعیت به‌ناچار در تمام ابعاد دنیای واقعی درگیر است، برخورد با اطلاعات مبهم یک کار عادی و یک چالش در زندگی روزمره است. آتانوسوف^۱ در سال ۱۹۸۶ میلادی مفهوم تئوری فازی

^۱. Atanassov Krassimir

شهودی^۱ را معرفی کرد. در واقع، ایده او این بود که برخلاف مجموعه‌های فازی کلاسیک که در آن عدم دقت فقط با درجه عضویت^۲ از $[0,1]$ مدل می‌شود و برای درجه عدم‌عضویت^۳ از درجه عضویت به‌طور خودکار از یک متمم می‌گیرد، در مجموعه‌های فازی شهودی هر دو درجه عضویت (پذیرش) و عدم‌عضویت (رد) اعدادی از بازه $[0,1]$ هستند، اما مجموع آن‌ها لزوماً یک نیست (پوری و یاداو، ۲۰۱۵). مجموعه‌های فازی شهودی از دو شاخص درجه عضویت و عدم‌عضویت، برای توصیف شرایط مختلف استفاده می‌کند و بدین وسیله می‌تواند سه حالت پشتیبانی (عضویت)، مخالفت (عدم‌عضویت) و بی‌طرفی را به‌طور همزمان نمایش دهد. به این ترتیب، هنگامی که عدم‌اطمینان و درجه تردید^۴ وجود دارد مجموعه فازی شهودی نسبت به مجموعه فازی کلاسیک می‌تواند اطلاعات بیشتر و منعطف‌تری را نشان دهد و به نظر می‌رسد در شرایط پیچیده برای برخورد با ویژگی‌های طبیعی دنیای واقعی مناسب باشد (لی، ۲۰۱۴).

مطالعه حاضر با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها ضمن ارائه یک مدل شبکه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی شرکت مورد مطالعه، به معرفی تکنیک فازی شهودی می‌پردازد که یک تعمیم از مجموعه‌های فازی است و علاوه بر درجه عضویت، درجه عدم‌عضویت و درجه تردید را در محاسبات لحاظ می‌کند. بنابراین از آنجا که ماهیت بعضی از متغیرهای ورودی یا خروجی در شرایط عدم‌اطمینان صورت می‌پذیرد می‌توان معیارهای کلامی را براساس اطلاعات فازی شهودی مورد ارزیابی قرار داد.

۱-۲ بیان مسأله

در دنیای رقابتی امروز، بسیاری از شرکت‌های تولیدی و خدماتی، ناگزیر شده‌اند به رویکردهای جدید مدیریتی روی بیاورند. از جمله این رویکردها، می‌توان به روش‌های جدید ارزیابی عملکرد اشاره کرد که نقش مهمی در بهبود عملکرد یک سازمان دارند. همچنین با توجه به رشد و اهمیت فزاینده سازمان‌ها در

1. Intuitionistic Fuzzy Set (IFS)

2. Membership Degree

3. Non-membership Degree

4. Hesitate Degree

اجتماع، ارزیابی عملکرد آنها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. همراه با توسعه کشورها و رشد تولید و خدمت، بازنگری و اصلاح روش‌ها جهت افزایش کارایی و بهره‌وری، لازمه ادامه حیات هر سازمان می‌باشد. از مسائل اصلی سازمان‌های امروزی عدم آگاهی کامل از کارایی و بهره‌وری سازمان است. در واقع وجود یا عدم وجود نظام ارزیابی عملکرد موثر و کارآمد با حیات و مرگ سازمان رابطه مستقیم دارد و فقدان آن را به عنوان بیماری سازمانی قلمداد نموده‌اند.

آگاهی از درجه عملکرد می‌تواند به سازمان‌ها در تعیین واحدهای ناکارا کمک شایانی کرده و مدیران خواهند توانست نقاط قوت و ضعف خود را در بازه‌های زمانی تعریف شده پیدا کنند. یکی از فراگیرترین ابزارها که این مهم را محقق ساخته تکنیک خودارزیابی^۱ با استفاده تحلیل پوششی داده‌ها است. در واقع تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر سنجش چند واحد تصمیم‌گیرنده^۲ نسبت به یکدیگر می‌تواند برای خودارزیابی یک واحد تصمیم‌گیرنده خاص در دوره‌های زمانی مختلف مورد استفاده قرار گیرد. خودارزیابی یک بازنگری جامع، روشمند و منظم از فعالیت‌ها و دستاوردهای یک سازمان در طول زمان است. فرآیند خودارزیابی، تشخیص صریح نقاط قوت و زمینه‌هایی که قابل بهبود هستند را برای سازمان ممکن می‌سازد. در فرآیند خودارزیابی، سازمان چگونگی بهبود واحدها را طی دوره‌های عملیاتی متوالی در درون خود می‌سنجد. هر چند روش‌های زیادی برای ارزیابی عملکرد سازمان وجود دارد اما هیچ‌یک از آنها درجه بهبود هر واحد را طی دوره‌های عملیاتی متوالی با توجه به منابع تولیدی دریافت شده در قالب کارایی و رتبه‌بندی نشان نمی‌دهند. اگرچه بکارگیری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی چندین واحد نسبت به هم بسیار مورد توجه قرار گرفته است اما بکارگیری آن برای یک واحد در طی زمان‌های متفاوت قابلیت خودارزیابی بدست می‌دهد. انجام خودارزیابی یک واحد تصمیم‌گیرنده به دلیل ثبات بیشتر شرایط به مراتب کارتر از ارزیابی آن با دیگر واحدهای تصمیم‌گیرنده است زیرا در تحلیل نسبت به دیگران

¹. Self-Assessment

². Decision Making Unit (DMU)

موجب قابلیت رتبه‌بندی شده اما خودارزیابی موجب تحلیل سازمان نسبت به موقعیت فعلی و قبلی می‌شود و شرایط رشد و ارتقاء را فراهم می‌آورد (شیخ و میرزایی، ۱۳۹۳). بنابراین در این تحقیق تلاش بر آن است تا با فرضیه تبدیل یک واحد تصمیم‌گیرنده به چندین گزینه در طی فرآیند سری زمانی ارزیابی کارایی صورت گیرد.

در تحلیل پوششی داده‌های قطعی ارزیابی عملکرد یک واحد تصمیم‌گیرنده می‌تواند از نقطه نظرهای متفاوت اندازه‌گیری شود. در واقع تحلیل پوششی داده‌های معمولی مستلزم ورودی‌ها و خروجی‌های قطعی است که ممکن است در کاربردهای دنیای واقعی همیشه در دسترس نباشند زیرا که در مسایل دنیای واقعی ورودی‌ها و خروجی‌ها اغلب مبهم هستند. در واقع امروزه بسیاری از داده‌ها به صورت قطعی نبوده و در فضای ابهام و تردید بایستی توسط ارزیابان مورد سنجش قرار گیرند؛ ارزیابی کلامی یا فازی به عنوان یکی از ابزارهای مهم برای سنجش عددی می‌باشد.

در این راستا مطالعه حاضر درصدد است تا از نظریه مجموعه فازی شهودی که حالت تکامل یافته‌ای از مجموعه‌های فازی می‌باشد در راستای ارزیابی عملکرد واحدها برای مقابله با عدم اطمینان و شرایط پیچیده محیطی استفاده کند. علاوه بر تابع عضویت، تابع عدم عضویت نیز مبنای محاسبات ریاضی در مجموعه فازی شهودی است. این تحقیق به بررسی و تحلیل عملکرد واحدها به صورت شبکه در شرایط نامشخص و غیرقابل پیش‌بینی دنیای واقعی می‌پردازد.

۱-۳ نوآوری تحقیق

در زمینه طراحی سیستم‌های شبکه‌ای در سازمان‌ها و نیز ارائه مدل‌های گوناگون برای ارزیابی عملکرد سازمان در شرایط مختلف و با فرضیات گوناگون، مطالعاتی به صورت جداگانه توسط محققان انجام شده است. ولی در مطالعه حاضر به کارگیری مدل شبکه‌ای با رویکرد تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و نیز به کارگیری این مدل تحت شرایط فازی شهودی - که توان بالایی برای برخورد با شرایط عدم قطعیت در

محیط‌های فازی شهودی دارد- از جنبه‌های نوآوری مطالعه حاضر بوده که تاکنون مطالعه‌ای در این حیطه صورت نگرفته است. این تکنیک می‌تواند کاستی و نقص بی‌دقتی و عدم اطمینان ذاتی ادراکات تصمیم‌گیرندگان را با استفاده از اعداد فازی شهودی و توافق نظر خبرگان در تصمیم‌گیری رفع کند. از جنبه‌های دیگر نوآوری در این مطالعه به کارگیری روش خودارزیابی در اندازه‌گیری کارایی است. با بهره‌گیری از این تکنیک می‌توان بهترین و بدترین بازه زمانی را برای واحد تولیدی مورد نظر تشخیص داده و علل آن را مورد تحلیل و تفسیر مدیریتی قرار داد.

۱-۴ اهداف تحقیق

مسائل مرتبط با ارزیابی عملکرد و مشخص کردن علل ناکارایی از جایگاه غیرقابل انکاری در کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد و سرانجام رسیدن به بهره‌وری بالا در هر سازمان برخوردار می‌باشند. هر سازمانی با گذشت زمان به دلیل تغییرات عوامل محیطی، اقتصادی، فرهنگی، تکنولوژی و غیره دچار تغییراتی در عملکرد می‌شود لذا کارایی آنها در فرآیند زمان دچار تغییر می‌گردد.

کالبدشکافی یا شناسایی دلایل کارایی یا عدم کارایی می‌تواند به مدیران در تصمیم‌گیری بهینه کمک نماید. در سنجش کارایی توسط تکنیک‌های تحلیل پوششی داده‌ها مفروضات اولیه حل مدل بر روی سنجش گزینه‌های مختلف تصمیم (واحدهای تصمیم‌گیرنده) بوده است. اما در این تحقیق واحدهای تصمیم‌گیرنده در حقیقت برش‌های زمانی است که از یک واحد تصمیم‌گیرنده ثابت صورت می‌گیرد بعلاوه متغیرهای ورودی و خروجی به عنوان داده‌ها و ستانده‌ها در اغلب تحقیقات به صورت قطعی یا فازی می‌باشد. اما گاهی اوقات در سنجش یک معیار فازی برای تیم تصمیم‌گیرنده نیز ممکن است ابهام وجود داشته باشد (ابهام در ابهام). لذا در این تحقیق برای سنجش بعضی از معیارهای کلامی به دلیل شرایط مبهم محیطی از اطلاعات فازی شهودی استفاده می‌گردد.

استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی به‌جای مجموعه‌های فازی به معنی معرفی درجه‌های دیگری از استقلال (شامل درجه عدم‌عضویت و حاشیه تردید) به مجموعه فازی یا قطعی می‌باشد. چنین تعمیمی از مجموعه‌های فازی، جزئیات دقیق‌تری برای نشان دادن ابهامات و توصیف بهتر بسیاری از مشکلات دنیای واقعی می‌دهد.

مطالعه حاضر با بهره‌گیری از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و نیز تئوری مجموعه‌های فازی شهودی به دنبال ارائه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی شهودی می‌باشد که علاوه بر ارزیابی کارایی همه واحدها و زیر واحدها و مشخص کردن علل ناکارایی، توانایی کاهش ریسک ناشی از عدم وجود اطلاعات در تصمیم‌گیری و مقابله با شرایط مبهم و پیچیده دنیای واقعی را داشته باشد و همچنین قادر به تجزیه و تحلیل عملکرد سازمان در بازه‌های زمانی مختلف نیز باشد.

۱-۵ سوالات تحقیق

این تحقیق فرضیه نداشته و دارای سوال اصلی زیر می‌باشد:

چگونه می‌توان کارایی سازمان را با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی شهودی را تحت شرایط عدم قطعیت اندازه‌گیری نمود؟

۱-۶ قلمرو موضوعی، مکانی، زمانی

از لحاظ موضوعی مربوط به تصمیم‌گیری کمی و مدل‌سازی است. بازه مکانی، محصولات تولیدی شرکت سیم و کابل مغان می‌باشد که دارای واحد کنترل کیفیت است و قلمرو زمانی اطلاعات مربوط به ۳ سال بوده که به واحدهای تصمیم‌گیرنده فصلی تبدیل می‌شود.

۱-۷ کاربردهای تحقیق

اولین هدف این تحقیق را می‌توان معرفی مدل شبکه‌ای فازی شهودی برای اندازه‌گیری کارایی سیستم و زیر واحدها در محیط فازی شهودی دانست. بنابراین این تحقیق می‌تواند برای خودارزیابی سیستم‌های

شبکه‌ای در محیط‌های فازی شهودی مورد استفاده قرار گیرد و هدف از آن شناسایی سیستم‌ها و زیر واحدهای ناکار است تا بتوان نقاط قوت و ضعف سیستم را شناسایی کرد. همچنین به دلیل به کارگیری روش خودارزیابی می‌توان بهترین و بدترین بازه زمانی را برای سیستم تولیدی مورد نظر تشخیص داده و علل آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد؛ و سپس در جهت اصلاح سیستم و زیر واحدهای ناکارا در سیستم اقدام کرد.

۸-۱ تعریف مفاهیم و اصطلاحات تخصصی

واحد تصمیم‌گیرنده: منظور از واحد تصمیم‌گیرنده، عبارت است از واحدی که با دریافت ورودی‌هایی مانند $X_i, i = 1, \dots, m$ ، خروجی‌هایی مانند $Y_r, r = 1, \dots, s$ را تولید می‌کند. منظور از واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس این است که واحدها عمل مشابه دارند و با دریافت ورودی‌های مشابه، همانند شعبات یک بانک، کارخانجات یک شرکت خاص یا ادارات یک سازمان دولتی خروجی‌های مشابه تولید می‌کنند.

کارایی: کارایی به معنای خوب کار کردن، تحت تأثیر شاخص‌های درون سازمانی مثل سود هر واحد، فروش هر واحد و از این قبیل قرار دارد، که به صورت نسبت خروجی به ورودی بیان می‌شود:

$$\text{کارایی} = \frac{\text{خروجی}}{\text{ورودی}} \quad (1-1)$$

کارایی مطلق یک واحد تصمیم‌گیرنده، مقایسه عملکرد آن با استانداردهای کلی و کارایی نسبی، سنجش عملکرد یک واحد تصمیم‌گیرنده، نسبت به واحدهای دیگر آن مجموعه است. چون استانداردهای کلی معمولاً تعریف نشده و در صورت تعریف شدن، رسیدن به آن مشکل است، لذا کاربرد کارایی نسبی گسترده‌تر از کاربرد کارایی مطلق است.

اگر واحد تصمیم‌گیرنده مورد نظر دارای یک ورودی و یک خروجی باشد، با استفاده از رابطه فوق کارایی آن قابل محاسبه بوده و اندازه حاصل، کارایی مطلق آن واحد به شمار می‌آید. اما در صورت وجود چند

ورودی و چند خروجی برای واحد تصمیم‌گیرنده مورد نظر، نسبت مجموع وزن‌دار شده خروجی به مجموع وزن‌دار شده ورودی به صورت

$$E_k = \frac{u_1 y_{1k} + \dots + u_s y_{sk}}{v_1 x_{1k} + \dots + v_m x_{mk}} \quad (2-1)$$

کارایی آن واحد را اندازه‌گیری می‌کند، که در آن u_r قیمت خروجی r ام یعنی Y_r و v_i هزینه ورودی i ام یعنی X_i ، $i = 1, \dots, S$ است. کارایی فوق به کارایی اقتصادی معروف است. قابل ذکر است که تخصیص وزن‌های مناسب به ورودی‌ها و خروجی‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای در اندازه کارایی دارد.

تئوری مجموعه‌های فازی: مجموعه فازی براساس تابع عضویت تعریف می‌شود که تصویر مجموعه فراگیر در بازه $[0,1]$ است. هر یک از اعضا درجه عضویت دارند. مجموعه فازی از تعمیم و عمومیت دادن تئوری مجموعه‌های کلاسیک ایجاد شد. در تئوری مجموعه‌های کلاسیک، عضویت اعضا در یک مجموعه به صورت جملات باینری براساس شرط دودویی تعیین می‌شوند که یک عضو یا به مجموعه تعلق دارد یا ندارد. درحالی‌که در تئوری فازی درجات نسبی عضویت اعضا در مجموعه مجاز است.

تئوری مجموعه‌های فازی شهودی: یک مجموعه فازی شهودی می‌تواند به‌عنوان یک تعمیم یا کلیت از مجموعه فازی دیده شود، در مواردی که اطلاعات در دسترس برای تعریف یک مفهوم مبهم به وسیله مجموعه فازی معمولی کافی نیست. در مجموعه‌های فازی شهودی دو درجه عضویت و عدم‌عضویت وجود دارد که اعدادی از بازه $[0,1]$ هستند، اما مجموع آن‌ها لزوماً یک نیست.

در فصل دوم این رساله در ابتدا به‌صورت مختصر به مطالعات انجام‌شده در زمینه تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، انواع سیستم‌های شبکه‌ای موجود و روش‌های به دست آوردن کارایی آنها پرداخته می‌شود. در ادامه مرور کلی بر مطالعات انجام شده در زمینه مطالعات فازی شهودی بکار رفته در این حوزه بیان می‌شود. سپس روشی برای حل مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی ارائه خواهد شد. در فصل سوم مسئله موردنظر در این پژوهش به‌طور کامل تشریح، فرضیات بیان و مدل ریاضی برای این مسئله

ارائه می‌شود؛ و در فصل چهارم کاربرد مدل در سیستم تولیدی شرکت سیم و کابل مغان به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان سیم و کابل به عنوان مطالعه موردی شرح داده می‌شود و در فصل پنجم نیز نتایج حاصل از اجرای این روش، گزارش و پیشنهادات برای مطالعات آتی بیان می‌شود.



فصل دوم: ادبیات و پیشینه تحقیق

۲-۱ مقدمه

یکی از چالش‌های اساسی مدیریتی در قرن بیست و یکم اندازه‌گیری عملکرد سازمان است و با توجه به این که کارایی می‌تواند به عنوان مبنایی جهت تصمیم‌گیری استفاده شود؛ مدیران در پی آن هستند تا کارایی سازمان را به صورت دقیق اندازه‌گیری کرده و از آن جهت اتخاذ تصمیمات صحیح بهره ببرند. در واقع اندازه‌گیری عملکرد یک سیستم، یکی از وظایف مهم مدیریتی برای دستیابی به اهداف کنترل، برنامه‌ریزی و غیره می‌باشد.

با توجه به اینکه مسئله مورد بررسی ترکیبی از مدل‌سازی شبکه‌ای با کمک تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها تحت محیط فازی شهودی است، در این فصل با مروری بر مبانی نظری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، انواع سیستم‌های شبکه‌ای و سپس مطالعات انجام شده در رابطه با اندازه‌گیری کارایی در محیط فازی شهودی، پیشینه پژوهش‌های انجام شده در این زمینه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. و سعی بر آن است تا شکاف تحقیقاتی مشخص شده و تا حد ممکن به آن پرداخته شود.

سؤال مهمی که در مطالعات اولیه به وجود می‌آید این است که چگونه می‌توان کارایی را در سیستم‌هایی با ساختارهای شبکه‌ای تحت محیط‌های عدم قطعیت اندازه‌گیری کرد و چگونه می‌توان از این داده‌های مبهم به عنوان مبنا و پایه‌ای جهت تصمیم‌گیری در سطوح مختلف مدیریتی بهره گرفت؟

۲-۲ بررسی ادبیات تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها

تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد داده‌محور برای اندازه‌گیری عملکرد مجموعه‌ای از واحدهای متجانس به نام واحدهای تصمیم‌گیرنده است. تحلیل پوششی داده‌های اولیه، که براساس مفهوم مرز کارایی (مرز خروجی) است، بهترین امتیاز کارایی را که می‌تواند به هر واحد تصمیم‌گیرنده واگذار شود تعیین می‌کند. براساس این امتیازها، واحدهای تصمیم‌گیرنده به واحدهای کارا یا ناکارا رتبه‌بندی می‌شوند، و واحدهای تصمیم‌گیرنده کارا مرز کارایی را مشخص خواهند کرد (عزیزی، ۲۰۱۱).

این روش که توسط چارلز و همکاران (۱۹۷۸) پیشنهاد شد نماینده بهترین تکنیک ارزیابی عملکرد میان دیگر تکنیک‌های ارزیابی عملکرد سازمان باشد. براساس مقاله هسی و لین (۲۰۱۰)، واحدهای تصمیم‌گیرنده با چندین ورودی و خروجی باید مجموعه‌ای متجانس باشند تا بتوان کارایی نسبی را با استفاده از این تکنیک برنامه‌ریزی خطی اندازه گرفت.

برای اندازه‌گیری کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها فرض کنید n واحد تصمیم‌گیرنده وجود دارد، k امین واحد تصمیم‌گیرنده m ورودی $X_{ik}, i = 1, \dots, m$ برای تولید s خروجی $Y_{rk}, r = 1, \dots, s$ استفاده می‌کند. کارایی واحد تصمیم‌گیرنده k با مدل زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} \max E_k &= \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1, \\ &\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\ &u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (1-2)$$

مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی (۱-۲)، در اندازه‌گیری کارایی تنها ورودی‌هایی عرضه شده به سیستم و خروجی‌هایی تولید شده از سیستم را در نظر می‌گیرد در این صورت عملیات فرآیندهای درونی نادیده گرفته می‌شوند. گاهی اوقات چنین نتایجی گمراه کننده هستند. زیرا در مسائل دنیای واقعی مواردی وجود دارد که یک واحد تصمیم‌گیرنده از مجموعه‌ای از اجزا تشکیل شده است، و هر یک ورودی-های یکسان مصرف می‌کند تا خروجی‌های یکسان تولید کند. برای مثال شرکتی با چندین طرح، که هر طرح به طور مستقل عمل می‌کند. در این صورت ورودی‌ها و خروجی‌های شرکت مجموع آنها از همه طرح‌ها خواهد بود.

یکی از مشکلات مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های پایه برای اندازه‌گیری کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده با چندین ورودی در مقابل چندین خروجی نادیده گرفتن تولیدات میانی یا پیوند

فعالیت‌ها است. برای مثال، بعضی شرکت‌ها از چندین بخش تشکیل شده‌اند که مانند شکل (۴) به یکدیگر متصل شده‌اند. در این مثال، شرکت سه بخش دارد. هر بخش منابع ورودی خودش را برای تولید کردن خروجی‌های خودش استفاده می‌کند. علاوه بر این بین فعالیت‌ها (یا تولیدات میانی) همان‌طور که در شکل نشان داده شده است پیوندهایی مانند $1 \rightarrow 2$ و $2 \rightarrow 3$ وجود دارد. پیوند $1 \rightarrow 2$ نشان می‌دهد که قسمت‌هایی از خروجی‌ها از بخش ۱ به عنوان ورودی بخش ۲ استفاده شده است. مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های معمولی نمی‌توانند تولیدات میانی را به طور مستقیم در یک مرحله بررسی کنند (تون کائرو و تساتسی، ۲۰۰۹). موضوع اساسی در این زمینه مربوط به واحدهای تصمیم‌گیرنده ناکارا است که چه عواملی سبب ناکارایی آنها شده است، اگرچه واضح است که کاهش ورودی‌ها یا افزایش خروجی‌ها عملکرد آنها را بهبود خواهد داد. اما باید زیر واحدهایی را که سبب ناکارایی در سیستم شده‌اند جهت انجام اقدامات اصلاحی شناسایی کرد که این امر به بهره‌گیری از مدل‌های شبکه در ارزیابی عملکرد گردید.

بنابراین بخش عظیمی از توسعه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در سال‌های اخیر به ارزیابی عملکرد در سازمان‌هایی اختصاص داده شده است که به طور گسترده از فرآیندهای شبکه‌ای جهت بهبود در عملکرد بهره می‌گیرند. کوک و همکاران (۲۰۱۰) مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را به چهار دسته طبقه‌بندی کردند که عبارت‌اند از: ۱- رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استاندارد؛ ۲- رویکرد تئوری بازی؛ ۳- رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای؛ و ۴- رویکرد تجزیه کارایی.

از آنجا که مطالعه حاضر برای خودارزیابی سیستم‌های شبکه‌ای در محیط‌های عدم قطعیت از رویکرد تجزیه استفاده می‌کند پس از بحث مختصری بر روی سه روش دیگر اصل بحث به رویکرد چهارم اختصاص خواهد یافت و این رویکرد در مورد انواع سیستم‌های شبکه شرح داده خواهد شد.

۲-۲-۱ رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استاندارد

رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استاندارد، مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی را برای ارزیابی کارایی هر زیر واحد در یک ساختار شبکه‌ای به کار می‌گیرد یعنی برای هر زیر واحد به طور جداگانه به حل تحلیل پوششی داده‌های معمولی اقدام می‌کند تا کارایی هر زیر واحد را به طور متمایز به دست آورد. پژوهشگرانی مانند سکستن و لیواس (۲۰۰۳) و چلین‌گرین و شرمن (۲۰۱۱) رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استاندارد را برای اندازه‌گیری کارایی سیستم‌های شبکه‌ای به کار بردند.

۲-۲-۲ رویکرد تئوری بازی

دومین رویکرد از ارزیابی عملکرد، مفهوم تئوری بازی است. این رویکرد به کارهای لیانگ و همکاران (۲۰۰۶) اشاره دارد آنها مدل تحلیل پوششی داده‌ها را برای اندازه‌گیری عملکرد زنجیره‌های تامین با دو عضو (برای مثال، در یک شکل تولیدکننده-خرده‌فروش) استفاده کردند. لیانگ و همکاران (۲۰۰۶)، مفهوم بازی استکلبرگ^۱ (یا رهبر-پیرو) و بازی مشارکتی را برای توسعه مدل‌ها برای اندازه‌گیری عملکرد در تنظیمات زنجیره عرضه به کار بردند.

۲-۲-۳ رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

سومین رویکرد، کارایی زیر واحد و کارایی کل را در یک چارچوب یکپارچه و واحد محاسبه می‌کند. این مدل به این معنی است که کارایی کل واحدهای تصمیم‌گیرنده به عنوان هدف کلی در نظر گرفته می‌شود و کارایی بخش‌ها به عنوان اجزاء آن است. رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای تنها اطلاعاتی در مورد کارایی کلی مراحل ارائه می‌دهد و اطلاعاتی در مورد مراحل فردی فراهم نمی‌آورد. تحت فرض متغیر نسبت به مقیاس، چن و ژو (۲۰۰۴) و چن و همکاران (۲۰۰۶) مدل‌های خطی و غیرخطی را برای اندازه‌گیری اثر فناوری اطلاعات (IT) بر روی عملکرد شرکت با یک فرآیند شبکه‌ای دو مرحله‌ای توسعه دادند.

^۱. Stackelberg

با این وجود، امتیازهای کارایی مراحل فردی آنها اطلاعاتی درباره عملکرد کلی و بهترین عملکرد دو فرآیند ارائه نمی‌دهند. تون و تساتسی (۲۰۰۹) رویکرد شبکه‌ای مبتنی بر اسلک^۱ را برای اندازه‌گیری کارایی زیر واحدها به کار بردند و کارایی سیستم را به عنوان میانگین حسابی موزون کارایی زیر واحدها در یک مدل ورودی‌محور و میانگین هارمونیک موزون در یک مدل خروجی‌محور تعریف کردند. فاکایاما و وبر (۲۰۱۰) یک معیار مبتنی بر اسلک را برای یک سیستم شبکه‌ای دو مرحله‌ای با خروجی‌های نامطلوب در نظر گرفتند.

۲-۲-۴ رویکرد تجزیه کارایی

آخرین رویکرد یعنی رویکرد تجزیه، تنها رویکردی است که رابطه بین کارایی سیستم و زیر واحدها را در نظر می‌گیرد. کائو و هوانگ (۲۰۰۸) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های سری را معرفی و کارایی کل سیستم را به صورت حاصل ضرب کارایی زیر واحدها تشریح کرد. کائو (۲۰۱۲) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای موازی را توسعه داد که قادر است کارایی سیستم و زیر واحدهای هر واحد تصمیم‌گیرنده را در یک برنامه‌ریزی خطی محاسبه کند در این مدل کارایی کل سیستم به صورت میانگین موزون کارایی زیر واحدها تعریف می‌شود. کائو (۲۰۱۴) یک رتبه‌بندی کامل از مطالعات را در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، براساس انواع ساختار شبکه و مدل به کار گرفته شده، فراهم آورد. ایده اساسی تجزیه کارایی در کائو (۲۰۱۴) این است که سیستم چند مرحله‌ای کلی را به یک ساختار سری تبدیل می‌کند، به طوری که هر ساختار سری، یک ساختار موازی دارد. براساس تجزیه کارایی در ساختار سری یا موازی، کارایی یک سیستم چند مرحله‌ای کلی می‌تواند به عنوان تابعی از کارایی فرآیندها بیان شود. از آنجا که در این مطالعه از رویکرد تجزیه استفاده گردیده است در بخش بعد رویکرد تجزیه برای انواع سیستم‌های شبکه‌ای به تفصیل بیان خواهد شد.

^۱. Slack-based measure (SBM)

۲-۳ انواع سیستم‌های شبکه‌ای

همان‌طور که مطرح گردید تحلیل پوششی داده‌های معمولی، برای سیستم‌هایی که از چندین فرآیند تشکیل شده‌اند تنها ورودی‌هایی که به سیستم عرضه و خروجی‌هایی که از سیستم تولید می‌شوند را در نظر گرفته گرفته و عملیات فرآیندهای درونی را نادیده می‌گیرند. بنابراین ممکن است در حالی که برخی از فرآیندها ناکارا هستند، سیستم کارا ارزیابی شود. در این حالت تجزیه کارایی، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا مراحل را که سبب ناکارایی سیستم شده‌اند شناسایی کند و به طور موثر عملکرد سیستم را بهبود دهد. با تجزیه کارایی، فرآیندهایی که عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهند شناسایی می‌شوند. ایجاد بهبود در این فرآیندها به طور موثر عملکرد کل سیستم را بهبود خواهد داد.

سیستم چند مرحله‌ای کلی، یک سیستم شبکه‌ای است که از تعدادی فرآیند متصل شده سری، با ساختار نشان داده شده در شکل (۱-۲) ایجاد شده است. در این سیستم، اولین فرآیند، ورودی بیرونی $X_i^{(1)}, i \in I^{(1)}$ را استفاده می‌کند، که از بیرون سیستم عرضه شده است، تا خروجی‌های بیرونی $Y_r^{(1)}, r \in O^{(1)}$ را به عنوان خروجی‌های نهایی سیستم، و تولیدات میانی $Z_f^{(1)}, f \in M^{(1)}$ را برای استفاده فرآیند بعدی، تولید کند. در فرآیندهای متوالی، هر فرآیند p ورودی‌های بیرونی $X_i^{(p)}, i \in I^{(p)}$ و تولیدات میانی $Z_f^{(p-1)}, f \in M^{(p-1)}$ که به وسیله فرآیند قبلی تولید شده، را به کار می‌گیرد تا خروجی‌های بیرونی $Y_r^{(p)}, r \in O^{(p)}$ و تولیدات میانی $Z_f^{(p)}, f \in M^{(p)}$ برای استفاده فرآیند بعدی را تولید کند. نهایتاً در فرآیند p ، ورودی‌هایی از بیرون، $X_i^{(q)}, i \in I^{(q)}$ با تولیدات میانی، $Z_f^{(q-1)}, f \in M^{(q-1)}$ که به وسیله فرآیند قبلی تولید شده $q - 1$ ، برای تولید خروجی‌های بیرونی $Y_r^{(q)}, r \in O^{(q)}$ استفاده می‌شوند. مجموعه‌های $I^{(p)}$ ، $O^{(q)}$ و $M^{(p)}$ به ترتیب شاخص‌هایی از ورودی‌ها، خروجی‌ها و تولیدات میانی برای فرآیند p را در برمی‌گیرند.

اگر عملیات فرآیندهای درونی نادیده گرفته شوند، در این صورت کل ورودی عرضه شده به سیستم برابر با $\sum_{p=1}^q Y_r^{(p)} = \sum_{p=1}^q X_i^{(p)} = X_i, i = 1, \dots, m$ و کل خروجی تولید شده از سیستم برابر $\sum_{p=1}^q Y_r^{(p)}$ خواهد بود. برای اندازه‌گیری کارایی سیستم و زیر واحدها به طور همزمان برای سیستم‌های شبکه‌ای کلی، کائو (۲۰۱۴) یک مدل رابطه‌ای که به عوامل یکسان برای داشتن وزن‌های یکسان مربوط با آن نیاز دارد پیشنهاد کرد، مشابه با مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی که نیاز دارد تا مجموع خروجی‌ها کمتر مساوی مجموع ورودی‌ها برای هر واحد تصمیم‌گیرنده باشد، مدل شبکه‌ای نیاز دارد تا مجموع خروجی‌ها کمتر مساوی مجموع ورودی‌ها برای هر زیر واحد باشد. مدل شبکه‌ای برای سیستم چند مرحله‌ای کلی شکل (۱) چنین است.

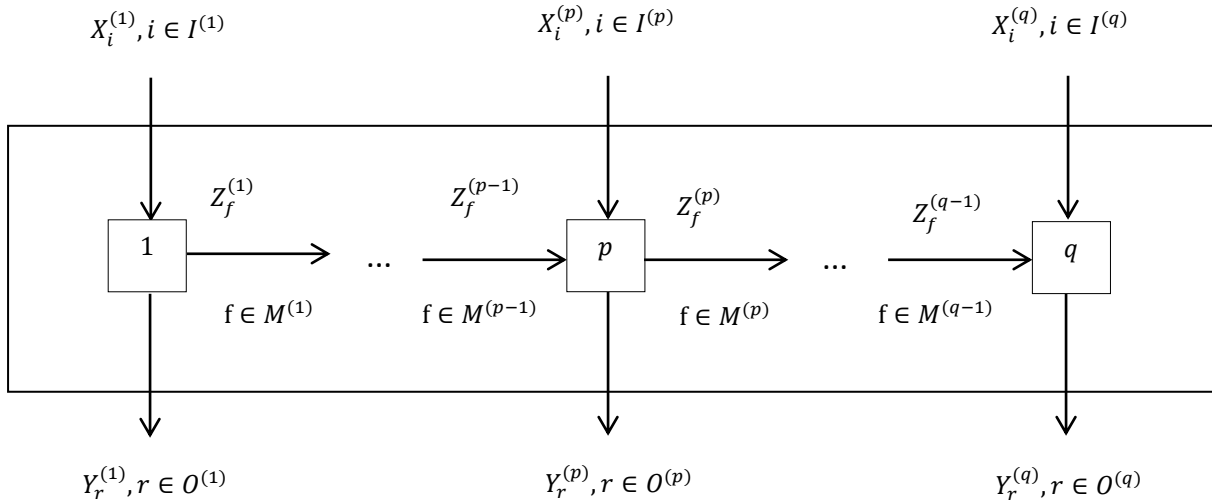
$$\begin{aligned}
 \max E_k^{general} &= \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \\
 s. t: \quad &\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1, \\
 &\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
 &(\sum_{r \in O^{(1)}} u_r Y_{rj}^{(1)} + \sum_{f \in M^{(1)}} w_f Z_{fj}^{(1)}) - \sum_{i \in I^{(1)}} v_i X_{ij}^{(1)} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
 &(\sum_{r \in O^{(p)}} u_r Y_{rj}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(p)}} w_f Z_{fj}^{(p)}) - (\sum_{i \in I^{(p)}} v_i X_{ij}^{(p)} + \\
 &\sum_{f \in M^{(p-1)}} w_f Z_{fj}^{(p-1)}) \leq 0, \quad p = 2, \dots, q-1, \quad j = 1, \dots, n, \\
 &\sum_{r \in O^{(q)}} u_r Y_{rj}^{(q)} - (\sum_{i \in I^{(q)}} v_i X_{ij}^{(q)} + \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_f Z_{fj}^{(q-1)}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
 &u_r, v_i, w_f \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m, \quad f = 1, \dots, g, \tag{۲-۲}
 \end{aligned}$$

به طوری که w_f وزن مربوط با f امین تولید میانی است.

در مدل (۲-۲)، مجموع محدودیت‌های معادل با q فرآیند برابر با محدودیت معادل با سیستم برای هر واحد تصمیم‌گیرنده j است:

$$\begin{aligned}
& \left[\left(\sum_{r \in O^{(1)}} u_r Y_{rj}^{(1)} + \sum_{f \in M^{(1)}} w_f Z_{fj}^{(1)} \right) - \sum_{i \in I^{(1)}} v_i X_{ij}^{(1)} \right] + \\
& \sum_{p=2}^{q-1} \left[\left(\sum_{r \in O^{(p)}} u_r Y_{rj}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(1)}} w_f Z_{fj}^{(p)} \right) - \right. \\
& \left. \left(\sum_{i \in I^{(p)}} v_i X_{ij}^{(p)} + \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_f Z_{fj}^{(p-1)} \right) \right] + \left[\sum_{r \in O^{(q)}} u_r Y_{rj}^{(q)} - \left(\sum_{i \in I^{(1)}} v_i X_{ij}^{(q)} + \right. \right. \\
& \left. \left. \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_f Z_{fj}^{(q-1)} \right) \right] = \sum_{p=1}^q \sum_{r \in O^{(p)}} u_r Y_{rj}^{(p)} - \sum_{p=1}^q \sum_{i \in I^{(p)}} v_i X_{ij}^{(p)} = \\
& \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \quad (3-2)
\end{aligned}$$

از آنجا که تولیدات میانی تولید شده در هر دوره در مرحله بعد استفاده می‌شوند؛ بنابراین، محدودیت‌های معادل با سیستم برای n واحد تصمیم‌گیرنده، $\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0$ ، زائد هستند و می‌توانند حذف شوند. بنابراین، متغیر کمکی مربوط با محدودیت سیستم، S_j ، برابر با مجموع متغیرهای کمکی مربوط با محدودیت‌های فرآیندها، $p = 1, \dots, q$ ، خواهد بود.



شکل (۱-۲): ساختار چند مرحله‌ای کلی

اگر u_r^*, v_i^*, w_f^* جواب بهینه مدل (۲-۲)، و S_k^* و $S_k^{(p)*}$ به ترتیب متغیرهای کمکی اضافه شده به محدودیت‌های معادل با سیستم و فرآیند p باشد. کارایی سیستم E_k و فرآیندها $E_k^{(p)}$ عبارت‌اند از:

$$E_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}} = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} = 1 - S_k^* \quad (۴-۲)$$

$$E_k^{(1)} = \frac{\sum_{r \in O(1)} u_r^* Y_{rk}^{(1)} + \sum_{f \in M(1)} w_f^* Z_{fk}^{(1)}}{\sum_{i \in I(1)} v_i^* X_{ik}^{(1)}} \quad (۵-۲)$$

$$E_k^{(p)} = \frac{\sum_{r \in O(p)} u_r^* Y_{rk}^{(p)} + \sum_{f \in M(p)} w_f^* Z_{fk}^{(p)}}{\sum_{i \in I(p)} v_i^* X_{ik}^{(p)} + \sum_{f \in M(p-1)} w_f^* Z_{fk}^{(p-1)}}, p = 2, \dots, q-1 \quad (۶-۲)$$

$$E_k^{(q)} = \frac{\sum_{r \in O(q)} u_r^* Y_{rk}^{(q)}}{\sum_{i \in I(q)} v_i^* X_{ik}^{(q)} + \sum_{f \in M(q-1)} w_f^* Z_{fk}^{(q-1)}} \quad (۷-۲)$$

برای سیستم‌های چند مرحله‌ای کلی، کارایی اسلک سیستم برابر با مجموع اسلک‌های فرآیندها، $S_k^* = \sum_{p=1}^q S_k^{(p)*}$ است. بنابراین سیستم کارا است اگر و فقط اگر همه فرآیندها کارا باشند. درحالی که $E_k = 1 - S_k^*$ است، ضروری نیست که $E_k^{(p)} = 1 - S_k^{(p)*}$ باشد؛ بنابراین رابطه‌ای بین E_k و $E_k^{(p)}$ به طور مستقیم از رابطه $S_k^* = \sum_{p=1}^q S_k^{(p)*}$ به دست نمی‌آید؛ و مفاهیم دیگری باید به کار برده شود.

سیستم‌های شبکه‌ای ساختارهای متنوعی دارند. با این وجود، دو ساختار اصلی از سیستم‌های شبکه‌ای ساختار موازی و ساختار سری هستند که یک سیستم شبکه‌ای می‌تواند بیان شود. اگر تجزیه کارایی برای این دو ساختار شناسایی شود سپس می‌توان کارایی را برای سیستم‌های شبکه‌ای کلی به دست آورد. در بخش‌های بعد تجزیه کارایی برای این دو ساختار به تشریح بیان خواهد شد.

۲-۳-۱ سیستم‌های تولید موازی

ساختار موازی معادل با سیستم‌هایی است که از تعدادی فرآیند که به طور مستقل عمل می‌کنند ساخته شده است. همان‌طور که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، هر فرآیند p در یک ساختار موازی با q

فرآیند، ورودی‌های $X_i^{(p)}, i \in I^{(p)}$ را برای تولید خروجی‌های $Y_r^{(p)}, r \in O^{(p)}$ استفاده می‌کند. مجموع ورودی‌ها $X_i^{(p)}$ و خروجی‌ها $Y_r^{(p)}$ برای همه q فرآیند برای واحد تصمیم‌گیرنده j ، به ترتیب ورودی $\sum_{p=1}^q X_{ij}^{(p)} = X_{ij}$ و خروجی $\sum_{p=1}^q Y_{rj}^{(p)} = Y_{rj}$ سیستم است. کائو (۲۰۱۲) مدل رابطه‌ای زیر را برای اندازه‌گیری کارایی سیستم موازی و فرآیندهای آن ارائه کرد:

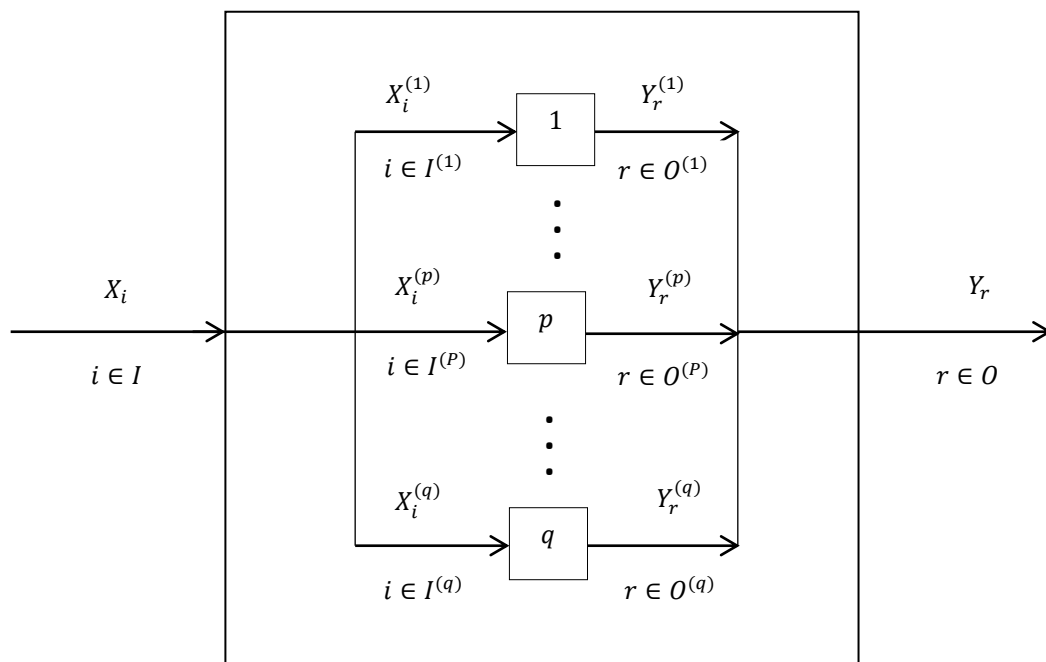
$$\begin{aligned} \max E_k^{parallel} &= \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} \\ \text{s. t: } \quad &\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1, \\ &\sum_{r \in O^{(p)}} u_{rk} Y_{rj}^{(p)} - \sum_{i \in I^{(p)}} v_{ik} X_{ij}^{(p)} \leq 0, p = 1, \dots, q, j = 1, \dots, n, \\ &u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (۸-۲)$$

تفاوت اساسی بین این مدل تحلیل پوششی داده‌های موازی و مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی این است که محدودیت برای هر سیستم با محدودیت وابسته با زیر واحدهایی تولید فرعی آن واحد جایگزین می‌شود. در نتیجه امتیاز کارایی محاسبه شده از مدل تحلیل پوششی داده‌های موازی کوچک‌تر از مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی است.

اگر (u_{rk}^*, v_{ik}^*) یک جواب بهینه از مدل (۸-۲) باشد کارایی سیستم و فرآیندها آن این چنین محاسبه خواهد شد:

$$E_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} = \sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk} \quad (۹-۲)$$

$$E_k^{(p)} = \frac{\sum_{r \in O^{(p)}} u_{rk}^* Y_{rk}^{(p)}}{\sum_{i \in I^{(p)}} v_{ik}^* X_{ik}^{(p)}}, p = 1, \dots, q \quad (۱۰-۲)$$



شکل (۲-۲): ساختار موازی با q

اگر وزن مربوط با فرآیند p را به عنوان مجموع ورودی مصرف شده به وسیله این فرآیند به ورودی مصرف

شده به وسیله همه q فرآیند تعریف کنیم، $W^{(p)} = \frac{\sum_{i \in I^{(p)}} v_{ik}^* X_{ik}^{(p)}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}}$ ، سپس میانگین کارایی q فرآیند

که به وسیله $W^{(p)}$ موزون شده است عبارت است از:

$$\begin{aligned} \sum_{p=1}^q W^{(p)} E_k^{(p)} &= \\ \sum_{p=1}^q \left[\left(\frac{\sum_{i \in I^{(p)}} v_{ik}^* X_{ik}^{(p)}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} \right) \left(\frac{\sum_{r \in O^{(p)}} u_{rk}^* Y_{rk}^{(p)}}{\sum_{i \in I^{(p)}} v_{ik}^* X_{ik}^{(p)}} \right) \right] &= \sum_{p=1}^q \left(\frac{\sum_{r \in O^{(p)}} u_{rk}^* Y_{rk}^{(p)}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} \right) = \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} & \quad (11-2) \end{aligned}$$

که برابر با کارایی کل سیستم خواهد بود.

۲-۳-۲ سیستم‌های تولید سری

برای یک سیستم متشکل از دو فرآیند که به شکل سری متصل شده‌اند، سیفورد و زو (۱۹۹۹) مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی را به طور مستقل برای محاسبه کارایی هر فرآیند به کار بردند. در حالی که کائو و هوانگ (۲۰۰۸) یک مدل رابطه‌ای را برای محاسبه کارایی سیستم با در نظر گرفتن رابطه سری دو فرآیند توسعه دادند. تفاوت عمده بین مدل مستقل و مدل رابطه‌ای در این است که مدل رابطه‌ای نیاز به عاملی یکسان دارد تا وزن یکسان داشته باشد مهم نیست که چگونه از آن استفاده شود، در حالی که مدل مستقل اجازه می‌دهد تا یک عامل یکسان زمانی که در مکان‌های مختلف استفاده می‌شود وزن‌های متفاوتی داشته باشد. شکل (۲-۳) یک ساختار سری با q فرآیند را نشان می‌دهد، به طوری که اولین فرآیند ورودی‌های $X_i, i = 1, \dots, m$ را که از بیرون عرضه شده است، استفاده می‌کند تا تولیدات میانی $Z_f^{(1)}, f \in M^{(1)}$ را برای استفاده فرآیند ۲ تولید کند. در فرآیندهای بعدی، هر فرآیند p تولیدات میانی $Z_f^{(p-1)}, f \in M^{(p-1)}$ را استفاده می‌کند، که به وسیله فرآیند قبلی $p - 1$ تولید شده‌اند، تا تولیدات میانی $Z_f^{(p)}, f \in M^{(p)}$ را برای استفاده فرآیندهای بعدی $p + 1$ تولید کند. آخرین فرآیند q تولیدات میانی $Z_f^{(q-1)}, f \in M^{(q-1)}$ را برای تولید خروجی‌های نهایی $Y_r, r = 1, \dots, s$ استفاده می‌کند. کائو و هوانگ (۲۰۰۸)، مدل رابطه‌ای زیر را برای اندازه‌گیری کارایی سیستم سری و فرآیندهای آن ارائه دادند:

$$\max E_k^{series} = \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}$$

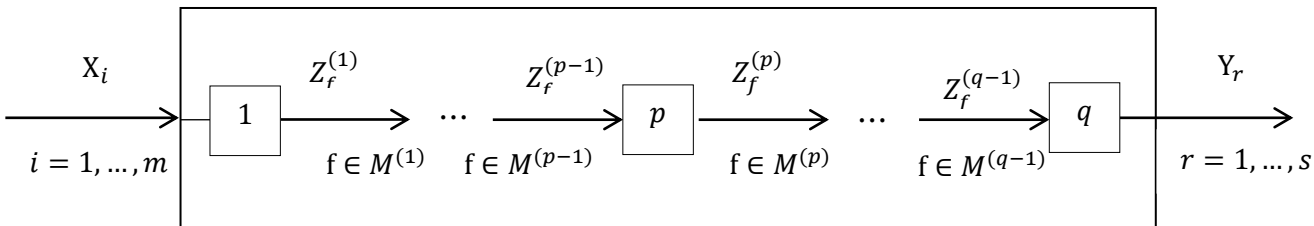
$$s. t: \quad \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} = 1,$$

$$\sum_{f \in M^{(1)}} w_{fk} Z_{fj}^{(1)} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{f \in M^{(p)}} w_{fk} Z_{fj}^{(p)} - \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_{fk} Z_{fj}^{(p-1)} \leq 0, \quad p = 2, \dots, q - 1, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_{fk} Z_{fj}^{(q-1)} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i, w_f \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m, f = 1, \dots, g \quad (12-2)$$



شکل (۳-۲): ساختار سری با q فرآیند

در نتیجه، کارایی سیستم سری و فرآیندهای آن می‌توانند مانند زیر محاسبه شوند:

$$E_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} = \sum_{r=1}^s u_r^* Y_{rk} \quad (13-2)$$

$$E_k^{(1)} = \frac{\sum_{f \in M^{(1)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(1)}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} \quad (14-2)$$

$$E_k^{(p)} = \frac{\sum_{f \in M^{(p)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(p)}}{\sum_{f \in M^{(p-1)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(p-1)}}, p = 2, \dots, q-1 \quad (15-2)$$

$$E_k^{(q)} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk}}{\sum_{f \in M^{(q-1)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(q-1)}} \quad (16-2)$$

ضرب کارایی q فرآیند عبارت است از:

$$\prod_{p=1}^q E_k^{(p)} = \left[\frac{\sum_{f \in M^{(1)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(1)}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} \right] \left[\prod_{p=2}^{q-1} \frac{\sum_{f \in M^{(p)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(p)}}{\sum_{f \in M^{(p-1)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(p-1)}} \right] \left[\frac{\sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk}}{\sum_{f \in M^{(q-1)}} w_{fk}^* Z_{fk}^{(q-1)}} \right] = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk}^* Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^* X_{ik}} \quad (17-2)$$

که برابر کارایی کل سیستم خواهد بود. بنابراین، کارایی سیستم برای سیستم‌هایی با ساختار سری

حاصل ضرب کارایی q فرآیند، $E_k = \prod_{p=1}^q E_k^{(p)}$ ، است.

برای تجزیه کارایی یک سیستم شبکه‌ای کلی، روش این است تا سیستم را به یک ساختار سری یا موازی از بخش‌ها تبدیل کنیم، به طوری که هر بخش یک ساختار سری یا موازی دارد. تجزیه کارایی برای کلیه سیستم‌ها می‌تواند براساس تجزیه کارایی برای ساختارهای سری یا موازی به دست آید.

۳-۳-۲ سیستم‌های تولید چند مرحله‌ای کلی

تحلیل پوششی داده‌های معمولی برای ارزیابی کارایی سیستم‌های تولید یک مرحله‌ای استفاده می‌شود، به طوری که در این مدل‌ها ساختار درونی واحدهای تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته نمی‌شود. در حالی که پارادایم تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای ارزیابی کارایی سیستم‌های تولید چند مرحله‌ای به کار گرفته شد؛ در این نوع از سیستم‌ها ساختار اساسی که جریان معیارهای میانی را میان فرآیندها نشان می‌دهد یک نقش کلیدی در ارزیابی کارایی اجرا می‌کند. راه‌حل تجزیه کردن کارایی یک سیستم چند مرحله‌ای کلی تبدیل آن به ساختار سری یا موازی است. در این قسمت، براساس مدل‌های سری و موازی، و افزودن متغیرهای کمکی به محدودیت‌ها، مدل برای محاسبه کارایی سیستم و فرآیندهای سیستم (شکل ۲-۴) به دست آمده است (کائو، ۲۰۱۴).

$$E_k = u_2 Y_{2k} + u_3 Y_{3k}$$

$$s. t: \quad v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} = 1,$$

$$(u_2 Y_{2j} + u_3 Y_{3j}) - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j}) + S_j = 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$w_1 Z_{1j} - v_1 X_{1j} + S_j^{(1)} = 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_2 Y_{2j} + w_2 Z_{2j} - (v_2 X_{2j} + w_1 Z_{1j}) + S_j^{(2)} = 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_3 Y_{3j} - (v_3 X_{3j} + w_2 Z_{2j}) + S_j^{(3)} = 0, \quad j = 1, \dots, n,$$

$$u_2, u_3, v_1, v_2, v_3, w_1, w_2 \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m, \quad (۱۸-۲)$$

در نتیجه کارایی سیستم و فرآیندها به این صورت به دست خواهند آمد:

$$E_k = \frac{u_2^* Y_{2k} + u_3^* Y_{3k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k}} \quad (19-2)$$

$$E_k^{(1)} = \frac{w_1^* Z_{1k}}{v_1^* X_{1k}} \quad (20-2)$$

$$E_k^{(2)} = \frac{u_2^* Y_{2k} + w_2^* Z_{2k}}{v_2^* X_{2k} + w_1^* Z_{1k}} \quad (21-2)$$

$$E_k^{(3)} = \frac{u_3^* Y_{3k}}{v_3^* X_{3k} + w_2^* Z_{2k}} \quad (22-2)$$

برای تبدیل سیستم شبکه‌ای کلی به یک ساختار سری یا موازی، کائو (۲۰۱۴) استفاده از فرآیندهای مجازی را برای حمل کردن ورودی‌ها و خروجی‌های میانی پیشنهاد کرد. فرآیندهای مجازی، ورودی‌ها و خروجی‌های یکسان دارند و فقط برای کمک به نمایش ارائه می‌شوند. برای سیستم چند مرحله‌ای شبکه‌ای، فقط یک مسیر، سری از q فرآیند وجود دارد. در هر مرحله یک فرآیند مجازی - که به شکل موازی با یک فرآیند واقعی متصل شده است - اضافه می‌شود تا ورودی‌ها برای استفاده در مرحله بعد و خروجی‌های تولید شده در مرحله قبل را حمل کند. شکل (۲-۵) چنین تبدیلی از سیستم شکل (۲-۴) را نشان می‌دهد، به طوری که مربع‌ها و دایره‌ها به ترتیب فرآیندهای واقعی و مجازی هستند. در واقع بعد از تبدیل سیستم کلی به یک ساختار سری که هر سیستم سری خود دارای ساختار موازی است می‌توان با استفاده از مدل‌های موازی و سری شرح داده شده در بالا کارایی سیستم و زیر فرآیندها را محاسبه نمود.

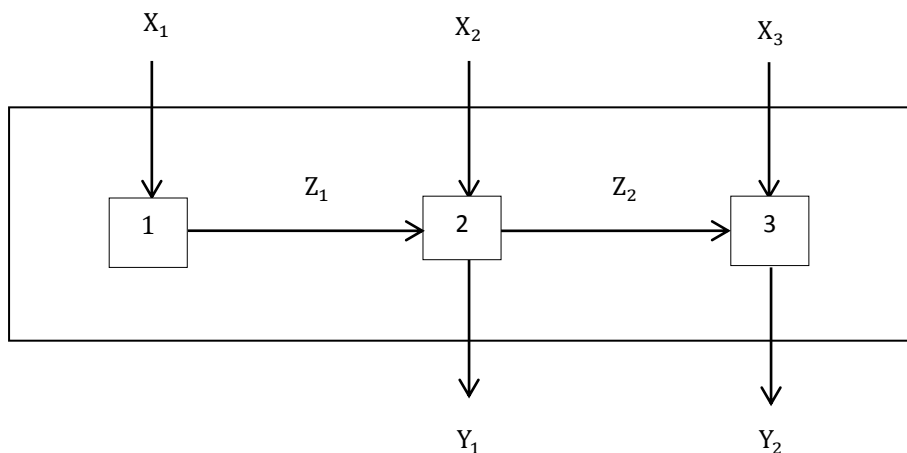
سیستم تبدیل شده (شکل ۲-۵) سه بخش دارد که به شکل سری - که هر یکی معادل با یک فرآیند است - به یکدیگر متصل شده‌اند. کارایی هر بخش از تقسیم مجموع خروجی‌ها به مجموع ورودی‌ها به دست می‌آید:

$$E_k^a = \frac{w_1^* Z_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k}} \quad (23-2)$$

$$E_k^b = \frac{w_2^* Z_{2k} + u_2^* Y_{2k} + v_2^* X_{2k}}{w_1^* Z_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k}} \quad (24-2)$$

$$E_k^c = \frac{u_2^* Y_{2k} + u_3^* Y_{3k}}{w_2^* Z_{2k} + v_3^* X_{3k} + u_2^* Y_{2k}} \quad (25-2)$$

برای اطمینان از این که کارایی بخش کمتر یا برابر یک است، مجموع خروجی‌های هر بخش نباید بزرگتر از مجموع ورودی‌ها باشد.



شکل (۲-۴): مثالی از یک سیستم چند مرحله‌ای کلی

$$(w_1 Z_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j}) - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j}) \leq 0 \quad (26-2)$$

$$(w_2 Z_{2j} + u_2 Y_{2j} + v_3 X_{3j}) - (w_1 Z_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j}) \leq 0 \quad (27-2)$$

$$(u_2 Y_{2j} + u_3 Y_{3j}) - (w_2 Z_{2j} + v_3 X_{3j} + u_2 Y_{2j}) \leq 0 \quad (28-2)$$

با حذف کردن عبارات یکسان، این سه محدودیت دقیقاً معادل با محدودیت‌های مرتبط با فرآیند در مدل (۱۸-۲) هستند.

هر یک از سه بخش یک ساختار موازی دارد که از یک فرآیند واقعی و یک فرآیند مجازی تشکیل شده است. چون ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیند مجازی یکسان است، محدودیت مربوطه زائد، و امتیاز کارایی یک است. کارایی هر بخش میانگین موزون کارایی فرآیندهای واقعی و مجازی است:

$$E_k^a = w^{(1)}E_k^{(1)} + w^{(4)}E_k^{(4)} = w^{(1)}E_k^{(1)} + (1 - w^{(1)}) \quad (29-2)$$

$$E_k^b = w^{(2)}E_k^{(2)} + w^{(5)}E_k^{(5)} = w^{(2)}E_k^{(2)} + (1 - w^{(2)}) \quad (30-2)$$

$$E_k^c = w^{(3)}E_k^{(3)} + w^{(6)}E_k^{(6)} = w^{(3)}E_k^{(3)} + (1 - w^{(3)}) \quad (31-2)$$

وزن هر یک از فرآیندها باید به صورت زیر محاسبه شود.

$$w^{(1)} = v_1^*X_{1k}/v_1^*X_{1k} + v_2^*X_{2k} + v_3^*X_{3k} \quad (32-2)$$

$$w^{(2)} = (w_1^*Z_{1k} + v_2^*X_{2k})/(w_1^*Z_{1k} + v_2^*X_{2k} + v_3^*X_{3k}) \quad (33-2)$$

$$w^{(3)} = (w_2^*Z_{2k} + v_3^*X_{3k})/(w_2^*Z_{2k} + v_3^*X_{3k} + u_2^*Y_{2k}) \quad (34-2)$$

براساس شکل (۵-۲) کارایی سیستم حاصل ضرب کارایی‌های سه بخش است و کارایی هر بخش میانگین

موزون کارایی فرآیندها است.

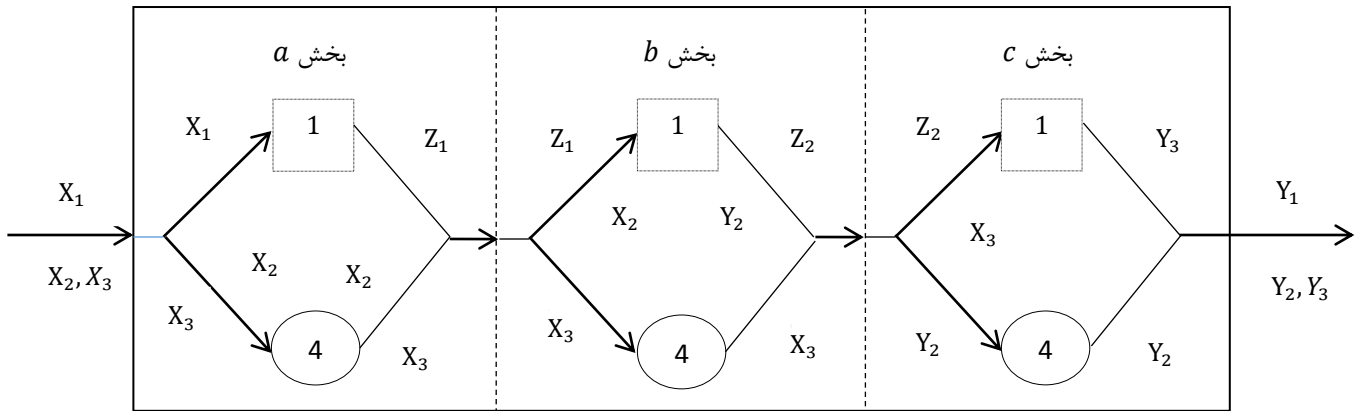
$$E_k = E_k^a \times E_k^b \times E_k^c = \left[w^{(1)}E_k^{(1)} + (1 - w^{(1)}) \right] \left[w^{(2)}E_k^{(2)} + (1 - w^{(2)}) \right] \left[w^{(3)}E_k^{(3)} + (1 - w^{(3)}) \right] \quad (35-2)$$

این نتایج می‌تواند به موارد کلی‌تر q مرحله‌ای با ورودی‌ها و خروجی‌ها و تولیدات میانی بیشتر توسعه داده

شود. بنابراین کارایی سیستم‌های چند مرحله‌ای کلی با q بخش حاصل ضرب کارایی تعدیل شده q بخش

است به طوری که کارایی تعدیل شده بخش، میانگین موزون کارایی فرآیندهای واقعی و مجازی است.

$$E_k = \prod_{p=1}^q \left[w^{(p)}E_k^{(p)} + (1 - w^{(p)}) \right] \quad (36-2)$$



شکل (۲-۵): سری- موازی تبدیل شده از مثال سیستم چند مرحله‌ای

۲-۴ مجموعه‌های فازی شهودی

از آنجا که عدم قطعیت به ناچار در هر سیستمی در دنیای واقعی وجود دارد، برخورد با اطلاعات مبهم یک امر طبیعی و یک چالش در زندگی روزمره است. یکی از چالش‌های اساسی مدیران استخراج اطلاعات دقیق از این داده‌های مبهم و تصمیم‌گیری بر مبنای آنها است. سروکار داشتن با اطلاعات نامعلوم برای مدت زمان طولانی یک چالش بزرگ به حساب می‌آید تا اینکه در سال ۱۹۶۰ میلادی، عدم اطمینان صرفاً برحسب نظریه احتمال در نظر گرفته شد و به‌عنوان «زندم» یا تصادفی بودن قابل فهم بود. این ارتباط به ظاهر بدون ابهام بین عدم قطعیت و احتمال، با چندین تئوری ریاضی متمایز از نظریه احتمال - که قادر به توصیف شرایط تحت عدم قطعیت بودند- موازی شد. شناخته‌شده‌ترین این نظریه‌ها که در اوایل سال ۱۹۶۰ شروع به پدیدار شدن کردند بدین شرح می‌باشند: نظریه مجموعه‌های فازی (زاده، ۱۹۶۵)، نظریه شواهد^۱ (شافر، ۱۹۷۶)، تئوری امکان^۲ (نگوی تا و همکاران، ۱۹۷۸)، تئوری اندازه‌گیری فازی^۳ (سوگنو، ۱۹۷۴)، تئوری مجموعه راف^۴ (پالاک، ۱۹۸۲) و به تازگی تئوری مجموعه‌های فازی شهودی^۵

^۱. evidence theory

^۲. possibility theory

^۳. theory of fuzzy measures

^۴. rough set theory

^۵. theory of intuitionistic fuzzy sets

(آتاناسو، ۱۹۸۳)؛ که باعث تحریک تعداد بیشتری از محققان در سرتاسر دنیا شده است. توسعه نظریه‌های ذکر شده نشان داد که چندین نوع متفاوت از عدم اطمینان وجود دارد (کیلر و وییرمن، ۱۹۹۹) و برای حدود سه سال عدم قطعیت با تصادفی بودن در ارتباط بود. برای مشاهده و تحلیل مجموعه‌های فازی شهودی در یک چشم‌انداز مناسب و به عنوان یک ابزار برای نمایش اطلاعات ناقص، در نگاه اول بهتر است، به چگونگی ظهور و اهمیت نظریه مجموعه فازی پرداخته شود.

نظریه فازی توسط زاده در سال ۱۹۶۵ میلادی به عنوان یک ابزار ساده و کارآمد برای نمایش و پردازش مفاهیم و مقادیر مبهم - برای مثال، زمانی که می‌گویند، مردان بلند قد، تعداد زیادی و غیره - ارائه شد. این مجموعه‌ها به دلیل اینکه ذاتشان انتقال تدریجی، نه ناگهانی بین عناصر عضویت و عدم عضویت در یک مجموعه است، فراتر از محدوده ریاضیات دقیق و رایج قرار می‌گیرند. زاده با جایگزین کردن تابع مشخصه معمولی از کلاسیک قطعی که مقادیرش در $\{0,1\}$ است، با تابع عضویت که امکان انتخاب مقادیری برای نمایش درجه عضویت در فاصله $[0,1]$ را فراهم می‌کند، به این هدف دست‌یافت. به عبارت دیگر، تعیین یک مقدار حقیقی در واحد فاصله‌ای برای هر عنصر از یک مجموعه فازی ضروری است؛ که این مقدار نشان‌دهنده درجه عضویت عنصر داده شده است.

زمانی که اطلاعات در دسترس برای تعریف مفهوم مبهم - با استفاده از یک مجموعه فازی همان‌طور که در بالا ذکر شد - کافی نیست. مفهوم مجموعه فازی شهودی می‌تواند در این چشم‌انداز به عنوان روش دیگری برای تعریف یک مجموعه فازی مطرح شود. فرض اساسی در تئوری مجموعه فازی این است که اگر درجه‌ای از عضویت یک عنصر در یک مجموعه فازی به عنوان یک عدد حقیقی از $[0,1]$ مشخص شود، برای مثال a ، حال درجه عدم عضویت به‌طور خودکار $1 - a$ تعیین می‌شود. درحالی‌که در نظریه مجموعه فازی شهودی فرض بر این است که مقادیر عدم عضویت حداکثر باید $1 - a$ باشد (به عبارت دیگر، مجموع مقادیر عضویت و عدم عضویت حداکثر ۱ است). اختلاف بین مجموع درجات عضویت و

عدم‌عضویت و مقدار ۱، اجازه بیان کمبود دانش (تردید در مورد هم‌عضویت و هم‌عدم‌عضویت یک‌عنصر به یک مجموعه) را می‌دهد. در این روش بهتر می‌توان اطلاعات مبهم را مدل کرد. واضح است که برای تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی هر پدیده یا روندی در دنیای واقعی، باید تنوع جنبه‌های ذاتی اطلاعات ناقص را در نظر گرفت.

آتانوسوف در اواسط سال ۱۹۸۶ میلادی مفهوم مجموعه فازی شهودی را معرفی کرد. در واقع، ایده او این بود که برخلاف مجموعه‌های فازی کلاسیک که در آن عدم دقت (صراحت) فقط با درجه عضویت از $[0,1]$ مشخص می‌شود و برای درجه عدم‌عضویت از درجه عضویت تنها به‌طور خودکار از ۱ متمم می‌گیرد. در مجموعه‌های فازی شهودی هر دو درجه عضویت و عدم‌عضویت اعدادی از $[0,1]$ هستند، اما مجموع آن‌ها لزوماً یک نیست.

۲-۴-۱ تعاریف مفاهیم قطعی، فازی و فازی شهودی

در مواردی که اطلاعات در دسترس برای تعریف یک مفهوم مبهم به وسیله مجموعه فازی معمولی کافی نیست، تصور کلی آتانوسوف از یک مجموعه فازی شهودی می‌تواند به‌عنوان یک تعمیم یا کلیت از مجموعه فازی دیده شود. در واقع در بسیاری از مسائل دنیای واقعی اطلاعات به صورت قطعی و حتی به صورت فازی هم در دسترس نیستند در این شرایط به ناچار باید از اطلاعات فازی شهودی استفاده کرد.

۲-۴-۱-۱ مجموعه قطعی

مجموعه یکی از مفاهیم اساسی در ریاضیات است. یک مجموعه منتخبی از عناصر است که صفات مشابه دارند. مجموعه کلاسیک (مجموعه قطعی) دارای حد و مرزهای مشخص می‌باشد، به عنوان مثال، تنها دو احتمال وجود دارد:

۱- یک جزء X متعلق است به مجموعه A

۲- یک جزء X متعلق نیست به مجموعه A

یک مجموعه کلاسیک می‌تواند با تابع مشخصه آن بیان شود.

برای یک مجموعه X و یک زیرمجموعه A از X ($A \subseteq X$) ما داریم:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (37-2)$$

تابع مشخصه A در X با استفاده از این تابع $\varphi_A(x)$ یک مجموعه قطعی A به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$A = \{ \langle x, \varphi_A(x) \rangle / x \in X \} \quad (38-2)$$

برای یک مجموعه قطعی یک عنصر نمی‌تواند «تا حدی» متعلق به یک مجموعه باشد یا «تا حدی» متعلق به یک مجموعه نباشد.

۲-۱-۴-۲ مجموعه فازی

مجموعه فازی یک تعمیم از یک مجموعه قطعی می‌باشد. مفهوم مجموعه فازی توسط زاده معرفی شد. یک مجموعه فازی \tilde{A} در مجموعه مرجع X توسط تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}$ مشخص می‌شود که برای هر عنصر $x \in X$ یک مقدار حقیقی $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ تعیین می‌شود که درجه عضویت x در مجموعه فازی \tilde{A} را بیان می‌کند.

یک مجموعه فازی \tilde{A} در $X = \{x\}$ توسط زاده (۱۹۶۵) به شکل زیر تعریف شده است:

$$A = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x) \rangle / x \in X \} \quad (39-2)$$

جایی که $\mu_{\tilde{A}}(x), X \rightarrow [0,1]$ تابع عضویت مجموعه فازی \tilde{A} می‌باشد. برای هر عنصر $x \in X$ میزان عضویت به مجموعه فازی \tilde{A} را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در بالا ذکر شد، یک مجموعه فازی \tilde{A} ، یک تعمیم از مجموعه قطعی A است که توسط توابع مشخصه $\varphi_A: X \rightarrow \{0,1\}$ نشان داده می‌شود. عضویت کامل برای x در \tilde{A} وقتی اتفاق می‌افتد که $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ و عدم‌عضویت کامل برای x در \tilde{A} وقتی اتفاق می‌افتد که $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$. هر مجموعه

قطعی یک مجموعه فازی است. تابع عضویت از مجموعه قطعی $A \subseteq X$ توسط تابع مشخصه زیر نشان داده می‌شود.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (40-2)$$

۳-۱-۴-۲ مجموعه فازی شهودی

مفهوم مجموعه فازی شهودی توسط آتاناسوف (۱۹۸۶) معرفی شد. یک مجموعه فازی شهودی تعمیمی از یک مجموعه فازی است.

آتاناسوف (۱۹۸۶) یک مجموعه فازی شهودی A در X را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$\tilde{A}^I = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}^I}(x), \nu_{\tilde{A}^I}(x) \rangle : x \in X \} \quad (41-2)$$

به طوری که

$$\begin{cases} \mu_{\tilde{A}^I}: X \rightarrow [0,1] \\ \nu_{\tilde{A}^I}: X \rightarrow [0,1] \end{cases} \quad (42-2)$$

با این شرط که

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}^I}(x) + \nu_{\tilde{A}^I}(x) \leq 1, \forall x \in X \quad (43-2)$$

اعداد $\mu_{\tilde{A}^I}(x)$ و $\nu_{\tilde{A}^I}(x)$ به ترتیب نشان‌دهنده درجه عضویت و درجه عدم‌عضویت عنصر $x \in X$ به مجموعه A می‌باشد.

آشکار است که هر مجموعه فازی، زیر مجموعه‌ای از مجموعه فازی شهودی به شکل زیر می‌باشد:

$$FS: \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}^I}(x), 1 - \mu_{\tilde{A}^I}(x) \rangle / x \in X \} \quad (44-2)$$

آتاناسوف (۱۹۸۶) بیان می‌کند که برای یک مجموعه فازی شهودی رابطه زیر برقرار است:

$$\pi_{\tilde{A}^I}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}^I}(x) - \nu_{\tilde{A}^I}(x), \forall x \in X \quad (45-2)$$

شاخص فازی شهودی (حاشیه تردید) $(\pi_{\bar{A}I}(x))$ عنصر x در مجموعه A بیان‌کننده کمبود دانش است که آیا x به A متعلق است یا خیر؟ واضح است که برای هر x :

$$0 \leq \pi_{\bar{A}I}(x) \leq 1 \quad (۴۶-۲)$$

برای هر مجموعه فازی \bar{A} جایی که $x \in X$:

$$\pi_{\bar{A}I}(x) = 1 - \mu_{\bar{A}I}(x) - [1 - \mu_{\bar{A}I}(x)] = 0 \quad (۴۷-۲)$$

استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی به‌جای مجموعه‌های فازی به معنی معرفی درجه‌های دیگری از استقلال (شامل درجه عدم‌عضویت و حاشیه تردید) به مجموعه فازی یا قطعی می‌باشد. چنین تعمیمی از مجموعه‌های فازی جزئیات دقیق‌تری برای نشان دادن ابهامات و توصیف بهتر بسیاری از مشکلات دنیای واقعی ارائه می‌دهد.

محاسبه حاشیه تردید (در کنار مقدار عدم‌عضویت) در بسیاری از مناطق نمونه‌های پردازش تصویر، (بوستینس و همکاران، ۲۰۰۶)، طبقه‌بندی از کلاس‌های نامتوازن (اسمیت و کویکر، ۲۰۰۶)، تصمیم‌گیری گروهی، مذاکرات، رأی‌گیری و شرایط دیگر حیاتی است (اسمیت و کاپرزیک، ۲۰۰۶). مجموعه‌های فازی شهودی بر پایه مدل‌ها می‌تواند در شرایطی که با اظهار نظرات انسان روبه‌رو می‌شویم بسیار مناسب باشد. ما در این شرایط با سه نوع پاسخ مواجه می‌شویم:

۱- بله،

۲- خیر،

۳- پرهیز از پاسخگویی (خودداری کردن)، یعنی به‌صورت بله یا خیر قابل طبقه‌بندی نیست (به دلایل مختلف، به‌عنوان مثال «نمی‌دانم»، «مطمئن نیستم»، «نمی‌خواهم پاسخ دهم»، «با همه گزینه‌ها موافق هستم» و غیره).

آتاناسوف (۱۹۹۹) در مثال زیر ماهیت مجموعه فازی شهودی و تفاوت آن را با مجموعه‌های فازی نشان می‌دهد.

اجازه دهید X مجموعه‌ای از همه کشورها با دولت منتخب مردم باشد. فرض کنید که ما می‌دانیم برای هر کشور $x \in X$ درصدی از مردم به دولت مربوطه رأی داده‌اند. این تعداد را با M نشان داده (X) و $\mu(X) = M(X)/100$ ؛ و نیز $v_{\tilde{A}^I}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}^I}(x)$ در نظر بگیرید. این عدد مربوط به آن بخشی از رأی‌دهندگان است که به دولت منتخب رأی نداده‌اند. با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی این مقدار را می‌توان با جزئیات بیشتری در نظر گرفت. با این حال، اگر $v_{\tilde{A}^I}(x)$ به‌عنوان تعداد آراء داده‌شده به احزاب یا افراد خارج از دولت تعریف شود، پس امکان نشان دادن بخشی از رأی‌دهندگان که به هیچ‌یک از احزاب رأی نداده‌اند وجود دارد که مقدار مربوط به آن‌ها $1 - \mu_{\tilde{A}^I}(x) - v_{\tilde{A}^I}(x)$ است. بنابراین می‌توان مجموعه $\{x \in X, \mu_{\tilde{A}^I}(x), v_{\tilde{A}^I}(x) | x \in X\}$ را تشکیل داد و واضح است که $0 \leq \mu_{\tilde{A}^I}(x) + v_{\tilde{A}^I}(x) \leq 1$. این مقدار مشخص‌شده که متمم مجموع درجه عضویت (رأی‌دهندگان به دولت منتخب) و عدم‌عضویت (رأی‌دهندگان به سایر احزاب) از یک می‌باشد را با عنوان حاشیه تردید یا شاخص شهودی^۱ در مجموعه فازی شهودی شناخته می‌شود.

عدد فازی شهودی: فرض کنید \tilde{A}^I یک مجموعه فازی شهودی تعریف شده در مجموعه حقیقی R با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}^I}$ و تابع عدم‌عضویت $v_{\tilde{A}^I}$ باشد سپس \tilde{A}^I یک مجموعه فازی شهودی است (ماهاپاترا و روی، ۲۰۰۹) اگر

۱. نرمال باشد، یعنی وجود دارد هر $x_0 \in R$ به طوری که $\mu_{\tilde{A}^I}(x_0) = 1$ (بنابراین

$$v_{\tilde{A}^I}(x_0) = 0$$

۲. برای تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}^I}(x)$ محدب باشد، یعنی

^۱. intuitionistic index

$$\mu_{\tilde{A}^I}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}^I}(x_1), \mu_{\tilde{A}^I}(x_2)), \forall x_1, x_2 \in R, \lambda \in [0,1]$$

۳. برای تابع عدم عضویت $v_{\tilde{A}^I}(x)$ معقر باشد، یعنی

$$v_{\tilde{A}^I}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \leq \max(v_{\tilde{A}^I}(x_1), v_{\tilde{A}^I}(x_2)), \forall x_1, x_2 \in R, \lambda \in [0,1]$$

مجموعه فازی شهودی \tilde{A}^I می‌تواند به وسیله $(a_1, a_2, a_3, a_4; b_1, b_2, b_3, b_4)$ با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}^I}$ و

تابع عدم عضویت $v_{\tilde{A}^I}$ زیر داده شود:

$$\mu_{\tilde{A}^I}(x) = \begin{cases} f_A(x), & a_1 \leq x < a_2, \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3, \\ g_A(x), & a_3 < x \leq a_4, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad \text{and} \quad v_{\tilde{A}^I}(x) = \begin{cases} h_A(x), & b_1 \leq x < b_2, \\ 0, & b_2 \leq x \leq b_3, \\ k_A(x), & b_3 < x \leq b_4, \\ 1, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

توابع f_A و k_A توابع مستمر تکه‌ای غیر کاهشی به ترتیب در $[a_1, a_2]$ و $(b_3, b_4]$ ، و توابع g_A و

h_A تابع مستمر تکه‌ای غیر افزایشی به ترتیب در $(a_3, a_4]$ و $[b_1, b_2]$ هستند.

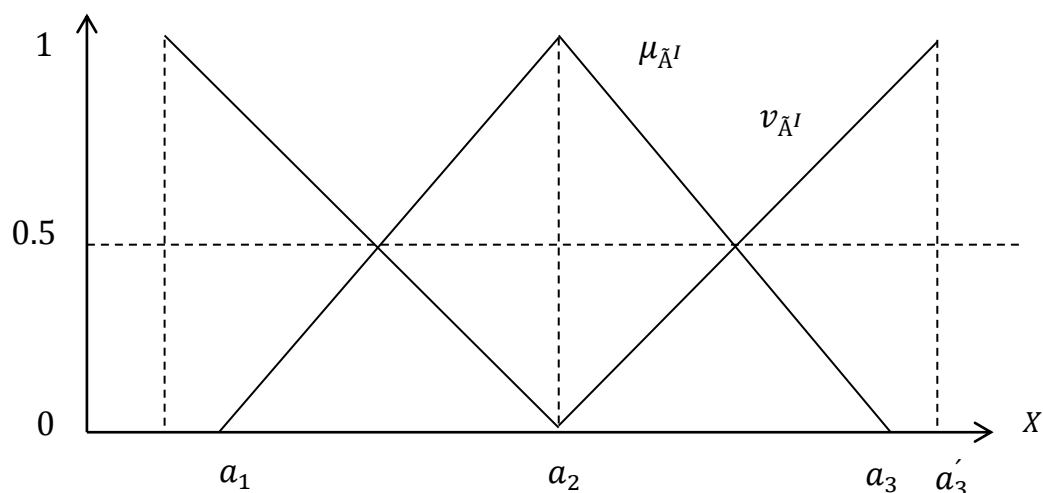
عدد فازی شهودی مثلثی: عدد فازی شهودی مثلثی (ماهاپاترا و روی، ۲۰۰۹) \tilde{A}^I یک عدد فازی

شهودی با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}^I}$ و تابع عدم عضویت $v_{\tilde{A}^I}$ زیر است:

$$\mu_{\tilde{A}^I}(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 < x \leq a_2, \\ 1, & x = a_2, \\ \frac{x-a_3}{a_2-a_3}, & a_2 \leq x < a_3, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad \text{and} \quad v_{\tilde{A}^I}(x) = \begin{cases} \frac{x-a_2}{a_1'-a_2}, & a_1' < x \leq a_2, \\ 0, & x = a_2, \\ \frac{x-a_2}{a_3'-a_2}, & a_2 \leq x < a_3', \\ 1, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

یک عدد فازی شهودی مثلثی، مانند $(a_1, a_2, a_3; a_1', a_2, a_3')$ مشخص شده و در شکل (۶-۲) نشان

داده شده است.



شکل (۲-۶): توابع عضویت و عدم عضویت عدد فازی شهودی مثلثی

$$a_{1'} \leq a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_{3'}$$

یک عدد فازی شهودی مثلثی $\tilde{A}^I = (a_1, a_2, a_3; a_{1'}, a_2, a_{3'})$ یک عدد فازی مثلثی است

اگر $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\pi_{\tilde{A}^I}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}^I}(x)$ ، $a_1 = a_{1'}$ ، $a_3 = a_{3'}$

و یک عدد حقیقی a است اگر $a_{1'} = a_1 = a_2 = a_3 = a_{3'} = a$ ، $\forall x \in R$ ، 0

عملیات حسابی بر روی اعداد فازی شهودی مثلثی: فرض کنید

$\tilde{A}^I = (a_1, a_2, a_3; a_{1'}, a_2, a_{3'})$ و $\tilde{B}^I = (b_1, b_2, b_3; b_{1'}, b_2, b_{3'})$ دو عدد فازی شهودی

مثلثی باشند. سپس عملیات حسابی بر روی اعداد فازی شهودی مثلثی مانند زیر داده شده است

(ناگورگانی و پون‌نالگو، ۲۰۱۲):

(۱) جمع: $\tilde{A}^I \oplus \tilde{B}^I = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3; a_{1'} + b_{1'}, a_2 + b_2, a_{3'} + b_{3'})$

(۲) تفریق: $\tilde{A}^I \ominus \tilde{B}^I = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1; a_{1'} - b_{3'}, a_2 - b_2, a_{3'} - b_{1'})$

(۳) ضرب: $\tilde{A}^I \otimes \tilde{B}^I = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3; a_{1'} b_{1'}, a_2 b_2, a_{3'} b_{3'})$ برای $\tilde{A}^I, \tilde{B}^I > 0$

(۴) ضرب اسکالر (عدد): برای $k \in R$

$$k\tilde{A}^I = \begin{cases} (ka_1, ka_2, ka_3; ka_1', ka_2', ka_3') & k > 0 \\ (ka_3, ka_2, ka_1; ka_3', ka_2', ka_1') & k < 0 \end{cases}$$

ارزش منتظره اعداد فازی شهودی: فاصله منتظره (گزرگورزسکی، ۲۰۰۳) یک عدد فازی شهودی

$$\tilde{A}^I = (a_1, a_2, a_3, a_4; b_1, b_2, b_3, b_4) \text{ یک فاصله قطعی } EI(\tilde{A}^I) \text{ است که با}$$

$$EI(\tilde{A}^I) = \quad (48-2)$$

$[E_*(\tilde{A}^I), E^*(\tilde{A}^I)]$ داده شده است. به طوری که

$$\begin{cases} E_*(\tilde{A}^I) = \frac{b_1+a_2}{2} + \frac{1}{2} \int_{b_1}^{b_2} h_A(x) dx - \frac{1}{2} \int_{a_1}^{a_2} f_A(x) dx \\ E^*(\tilde{A}^I) = \frac{a_3+b_4}{2} + \frac{1}{2} \int_{a_3}^{a_4} g_A(x) dx - \frac{1}{2} \int_{b_3}^{b_4} k_A(x) dx \end{cases} \quad (49-2).$$

ارزش منتظره (گزرگورزسکی، ۲۰۰۳) یک عدد فازی شهودی با

$$EV(\tilde{A}^I) = (E_*(\tilde{A}^I) + E^*(\tilde{A}^I))/2 \quad (50-2)$$

تعریف شده است. فرض کنید $\tilde{A}^I = (a_1, a_2, a_3; a_1', a_2', a_3')$ یک عدد فازی شهودی مثلثی باشد.

سپس با استفاده از (48-2)، $EI(\tilde{A}^I)$ با

$$EI(\tilde{A}^I) = [E_*(\tilde{A}^I), E^*(\tilde{A}^I)] = \left[\frac{a_1'+2a_2+a_1}{4}, \frac{a_3+2a_2+a_3'}{4} \right] \quad (51-2)$$

تعریف شده است؛ و با استفاده از (50-2)، $EV(\tilde{A}^I)$ با

$$EV(\tilde{A}^I) = (a_1' + a_1 + 4a_2 + a_3 + a_3')/8 \quad (52-2)$$

داده شده است.

گزرگورزسکی (۲۰۰۳) روشی را برای رتبه‌بندی اعداد فازی شهودی معرفی کرد. فرض کنید \tilde{A}^I و \tilde{B}^I

دو عدد فازی شهودی باشند. فرض کنید $>_L$ و $>_U$ به ترتیب شبه‌رتبه را با در نظر گرفتن افق پایین و

بالا، براساس متریک d_1 (i. e., d_p for $p = 1$) مشخص کنند. سپس رتبه‌های زیر را داریم:

$$\tilde{A}^I >_L \tilde{B}^I \Leftrightarrow EV(\tilde{A}^I) \geq EV(\tilde{B}^I)$$

$$\tilde{A}^I >_U \tilde{B}^I \Leftrightarrow EV(\tilde{A}^I) \geq EV(\tilde{B}^I)$$

ناگورگانی و پون نالاگو (۲۰۱۲) یک تابع حقیقی $H(\tilde{A}^I) = ((a_1 + 2a_2 + a_3) +$ تعریف $\tilde{A}^I = (a_1, a_2, a_3; a_1', a_2, a_3')$ برای عدد فازی شهودی مثلثی $(a_1' + 2a_2 + a_3')$ کردند که مانند ارزش منتظره $EV(\tilde{A}^I)$ در (۲-۵۲) به دست آمده و ترتیب زیر را استفاده کرده است:

$$\tilde{A}^I >_L \tilde{B}^I \Leftrightarrow H(\tilde{A}^I) \geq H(\tilde{B}^I)$$

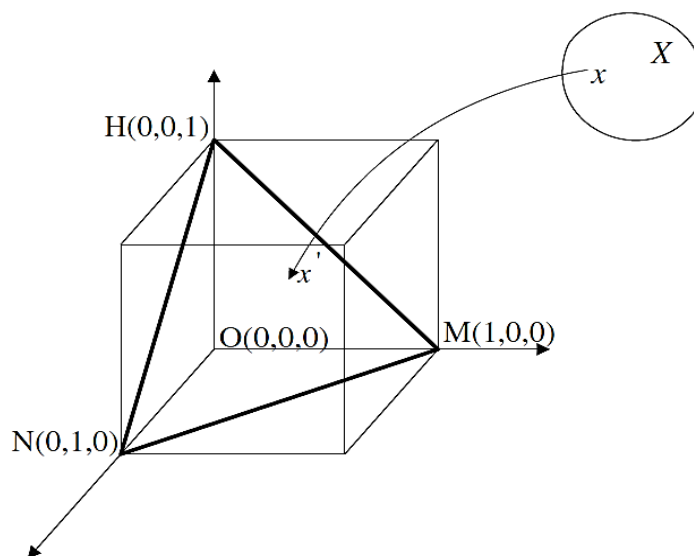
به طوری که $H(\tilde{A}^I)$ و $H(\tilde{B}^I)$ به ترتیب مقادیر تابع حقیقی برای اعداد فازی شهودی مثلثی \tilde{A}^I و \tilde{B}^I هستند.

نمایش گرافیکی از مجموعه‌های فازی شهودی: این بخش با بحث در مورد دو نمایش هندسی مجموعه فازی شهودی شروع می‌شود. بازنمایی با استفاده از دو اصطلاح (مقدار عضویت و مقدار عدم-عضویت) و همچنین توصیف مجموعه فازی شهودی منجر به نمایشی دو بعدی می‌شود. در حالی که استفاده از سه اصطلاح (مقادیر عضویت، عدم‌عضویت و حاشیه تردید) در توضیحات مجموعه فازی شهودی نمایشی سه بعدی را نتیجه می‌دهد.

توجه کنید که برای هر عنصر x متعلق به یک مجموعه فازی شهودی A ، مجموع مقادیر عضویت، عدم-عضویت و شاخص فازی شهودی برابر یک است، یعنی

$$\mu_{\tilde{A}^I}(x) + v_{\tilde{A}^I}(x) + \pi_{\tilde{A}^I}(x) = 1 \quad (۲-۵۳)$$

و هر یک از مقادیر عضویت، عدم‌عضویت و شاخص فازی شهودی متعلق به $[0,1]$ می‌باشد. سپس یک مکعب واحد تصور می‌شود (شکل ۲-۷) که در داخل آن یک مثلث MNH- که در آن معادله بالا برآورده شده است- وجود دارد (اسمیت و کاپرزیک، ۲۰۰۰).

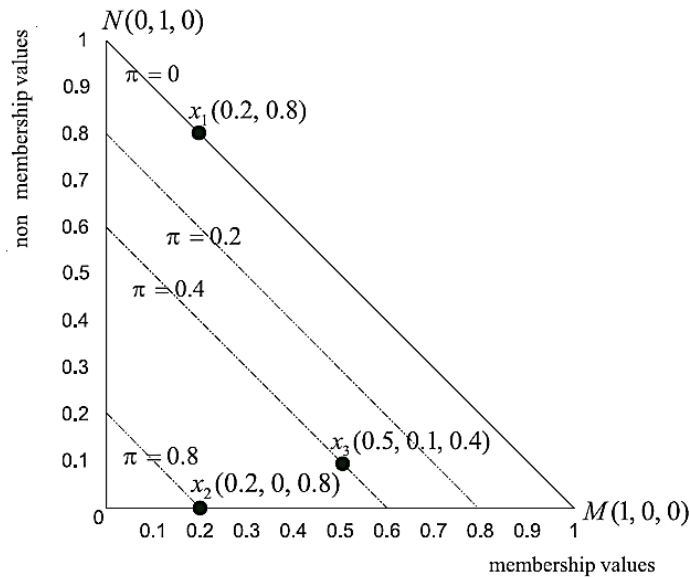


شکل (۲-۷): نمایش گرافیکی سه‌بعدی مجموعه‌های فازی شهودی

به عبارت دیگر، مثلث MNH نشان‌دهنده یک سطح مقطع است که در آن مختصات هر عنصر متعلق به یک مجموعه فازی شهودی را می‌توان بیان کرد. هر نقطه متعلق به مثلث MNH از طریق سه مختصات (μ, ν, π) توصیف شده است. امتیاز M و N نشان‌دهنده عناصر قطعی می‌باشد. نقطه $M = (1, 0, 0)$ نشان‌دهنده عناصر به‌طور کامل متعلق به یک مجموعه فازی شهودی می‌باشد یعنی $\mu = 1$. نقطه $N = (0, 1, 0)$ نشان‌دهنده عناصر به‌طور کامل عدم‌تعلق به یک مجموعه فازی شهودی می‌باشد، یعنی $\nu = 1$. نقطه $H = (0, 0, 1)$ نشان‌دهنده عناصری است که ما قادر نیستیم به گفتن اینکه، آیا آنها به یک مجموعه فازی شهودی تعلق دارند یا خیر. مجموعه‌ای که در آن (شاخص فازی شهودی $\pi = 1$) است. چنین تفسیری اطلاعات بسیار جذابی فراهم می‌کند و به معنی نمایش بسیاری از جنبه‌های اطلاعات ناقص می‌باشد. بخش MN که در آن $\pi = 0$ نشان‌دهنده عناصر متعلق به مجموعه‌های فازی کلاسیک ($\mu + \nu = 1$) می‌باشد. هر ترکیب دیگر از مقادیر توصیف یک مجموعه فازی شهودی می‌تواند در داخل مثلث MNH نشان داده شود. به عبارت دیگر، هر یک از عناصر متعلق

به یک مجموعه فازی شهودی می‌تواند به‌عنوان یک نقطه با مقادیر (μ, ν, π) متعلق به مثلث MNH مطابق شکل (۷-۲) بیان شود.

شکل (۸-۲) یکی دیگر از نمایش‌های ممکن برای مجموعه‌های فازی شهودی در فضای دو بعدی را نمایش می‌دهد.



شکل (۸-۲): نمایش گرافیکی دوبعدی مجموعه‌های فازی شهودی

لازم به ذکر است که تفسیر هندسی ارائه‌شده به‌طور مستقیم به تعریف یک مجموعه فازی شهودی که توسط آتانوسوف معرفی شده (آتاناسو، ۱۹۹۹) مرتبط می‌باشد.

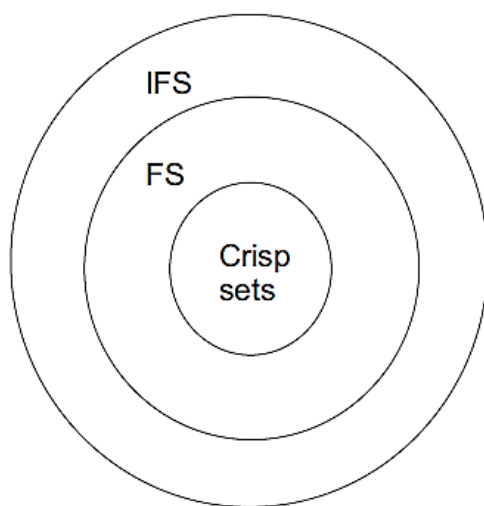
بر اساس تعاریف و ویژگی‌های ارائه‌شده در این فصل، نتایج زیر می‌توانند استنباط شوند:

یک تابع عضویت یک مجموعه فازی را به‌طور کامل شرح می‌دهد (با مشخص کردن تابع عضویت به‌طور خودکار تابع عدم‌عضویت بدست می‌آید $(1 - \mu = \nu)$).

برای تشریح یک مجموعه فازی شهودی به‌طور کامل، باید از سه اصطلاح استفاده شود: {تابع عضویت، تابع عدم‌عضویت، شاخص عملکرد فازی شهودی}. به‌عبارت‌دیگر، استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی

به جای مجموعه‌های فازی به معنی معرفی درجه دیگری از آزادی به توصیفات مجموعه‌ای می‌باشد (جدا از تابع μ_A به نظر می‌رسد یک تابع ν_A یا π_A وجود دارد).

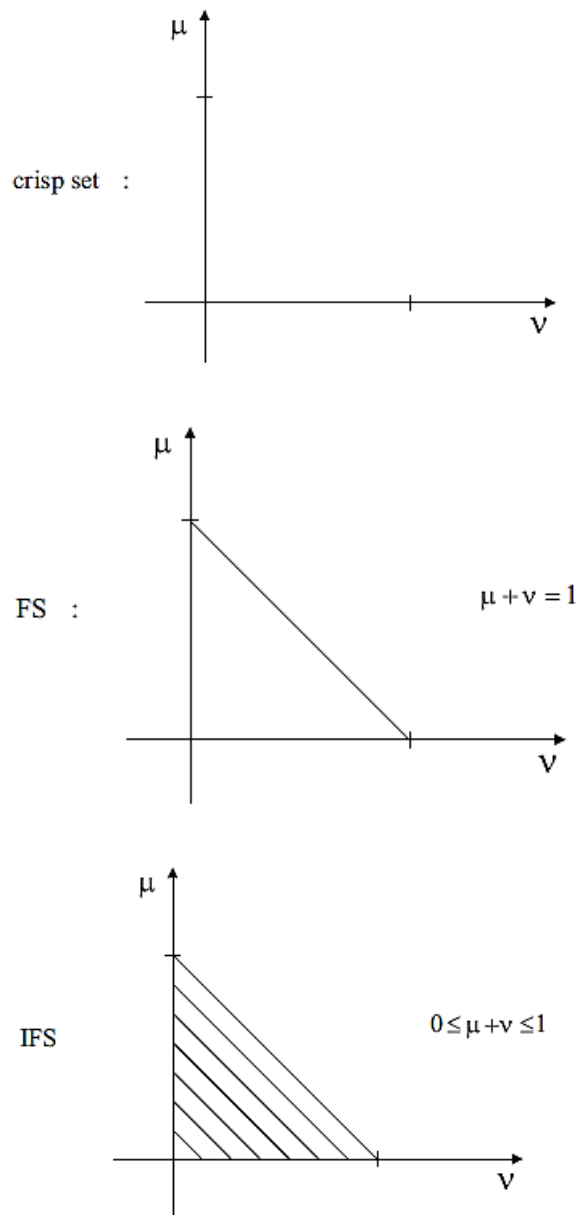
روابط درونی میان مجموعه کلاسیک (قطعی)، مجموعه‌های فازی (FS) و مجموعه فازی شهودی (IFS) در شکل (۹-۲) نشان داده شده است.



شکل (۹-۲): ارتباط متقابل میان مجموعه‌های کلاسیک، فازی و فازی شهودی

مفهوم شکل (۹-۲) در شکل (۱۰-۲) بیان شده است. برای یک مجموعه قطعی، تنها دو نقطه در سیستم مختصات داده شده است. در شکل (۱۰-۲) می‌توانید عناصر متعلق به چنین مجموعه‌ای را ببینید. به عنوان یک عنصر مربوط به مجموعه‌ای قطعی، یا به طور کامل به مجموعه تعلق دارد و یا به طور کامل به مجموعه تعلق ندارد، تنها نقطه با مختصات $\nu = 0$ و $\mu = 1$ (به طور کامل متعلق) و یا نقطه $\nu = 1$ و $\mu = 0$ (به طور کامل تعلق ندارد) می‌تواند عناصر مجموعه قطعی را نمایش دهد. این مورد در قسمت بالای شکل (۱۰-۲) نشان داده شده است. در مورد یک مجموعه فازی، به دلیل این واقعیت که $\mu + \nu = 1$ علاوه بر امتیاز قبلی (به طور کامل تعلق دارد و به طور کامل تعلق ندارد) شرح داده شد، کل بخش خط متصل این نقاط می‌تواند یک تصویر از عناصر متعلق به یک مجموعه فازی باشد. قسمت وسط از شکل (۱۰-۲) این واقعیت را نشان می‌دهد.

درنهایت، برای یک مجموعه فازی شهودی، به دلیل وضعیت، $0 \leq \mu + \nu \leq 1$ ، علاوه بر موارد فوق، همچنین داخل مثلث سایه‌دار در قسمت پایین شکل (۱۰-۲) عناصر متعلق به یک مجموعه فازی شهودی را می‌تواند نمایش دهد. هر یک از خطوط موازی (در داخل مثلث) یک تصویر از عناصر با همان مقدار شاخص فازی شهودی است.



شکل (۱۰-۲): مقایسه میان عناصر متعلق به مجموعه کلاسیک، فازی و فازی شهودی

در مفهوم فوق، مجموعه فازی شهودی شامل مجموعه‌های فازی است که به نوبه خود، شامل مجموعه قطعی یا کلاسیک نیز می‌باشد (شکل ۲-۹). از نظر اطلاعات به این معنی که:

❖ مجموعه قطعی: اطلاعات کامل می‌باشند (عناصر یا به‌طور کامل به مجموعه قطعی تعلق دارند و یا به‌طور کامل تعلق ندارند)،

❖ مجموعه فازی: اطلاعات کامل‌اند اما عناصر می‌تواند به یک مجموعه فازی با مقداری از درجه تعلق داشته باشند؛ با دانستن درجه‌ای که عناصر متعلق به یک مجموعه فازی (μ) هستند، بلافاصله درجه‌ای که آن‌ها به همان مجموعه تعلق ندارند محاسبه می‌شود ($1 - \mu$).

❖ مجموعه فازی شهودی: اطلاعات ممکن است به دلیل شاخص فازی شهودی کامل نباشد. از سوی دیگر با استفاده از مجموعه‌های فازی شهودی، اطلاعات را می‌توان از طریق مجموعه قطعی و یا مجموعه فازی (اشکال ۲-۹ و ۲-۱۰) بیان کرد.

۲-۵ مرور ادبیات اندازه‌گیری عملکرد در محیط‌های فازی و فازی شهودی

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های پایه (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸) به داده‌های ورودی و خروجی قطعی نیاز دارند. در حالی که، در شرایط دنیای واقعی، داده‌های ورودی و خروجی قطعی ممکن است همیشه در دسترس نباشند، به طور خاص زمانی که یک مجموعه از واحدهای تصمیم‌گیرنده داده‌های از دست رفته، داده‌های قضاوتی و داده‌های پیش‌بینی شده دارند. به طور کلی، اطلاعات نامعلوم یا داده‌های مبهم می‌توانند با اعداد فازی - که شامل اعداد فاصله‌ای به عنوان یک مورد خاص می‌شوند - توصیف شوند. بنابراین چگونگی ارزیابی کارایی‌های گروهی از واحدهای تصمیم‌گیرنده با داده‌های ورودی و خروجی مبهم مسئله مهم بسیاری از مطالعات است.

ویژگی اساسی رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها این است که اندازه‌گیری کارایی به انحرافات داده‌ها حساس است. متأسفانه در دنیای واقعی، معمولاً اندازه‌گیری مشاهدات به صورت دقیق دشوار است. در این حالت

مواردی وجود دارد که داده‌ها کیفی هستند؛ برای مثال کیفیت پژوهش نمی‌تواند به طور دقیق بیان شود. برای بررسی کیفی با داده‌های نادقیق، بل‌من و زاده (۱۹۷۰) و زاده (۱۹۷۳) مفهوم فازی‌سازی را توسعه دادند. جاسازی کردن مفهوم مجموعه‌های فازی در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها نیز شیوه‌ای برای محاسبه کارایی با داده‌های مبهم است (کائو، ۲۰۱۲).

کوپر و همکاران (۱۹۹۹) اولین بار چگونگی مقابله با داده‌های مبهم مانند داده‌های حیدار، داده‌های رتبه-ای و داده‌های حیدار نسبی را در تحلیل پوششی داده‌ها مطالعه کردند. کائو و لئو (۲۰۰۰) روشی را توسعه دادند تا توابع عضویت درجه‌های کارایی فازی را زمانی که بعضی مشاهدات اعداد فازی هستند پیدا کنند. اینتانی و همکاران (۲۰۰۲) کارایی فاصله‌ای را از دیدگاه بدبینانه و خوش‌بینانه به دست آوردند.

زمانی که بعضی از مشاهدات فازی هستند، در فرآیند تصمیم‌گیری هدف و محدودیت‌ها همچنین به فازی تبدیل می‌شوند. بنابراین زمانی که داده‌ها فازی هستند، کارایی محاسبه شده نیز فازی خواهد بود. کائو و لئو (۲۰۰۰) مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو سطحی را برای سیستم یک فرآیندی معمولی توسعه دادند تا تابع عضویت کارایی فازی با مشاهدات فازی را محاسبه کنند. کائو و لئو (۲۰۱۱) کارایی را برای سیستم‌های دو مرحله‌ای با داده‌های فازی محاسبه کردند و متوجه این قضیه شدند که کارایی سیستم، حاصل ضرب کارایی فرآیندها است.

ترین تست و گیروود (۱۹۹۸) داده‌های ورودی و خروجی فازی را با استفاده از مقادیر تابع عضویت به داده‌های قطعی تبدیل کردند و یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهاد کردند که امتیازهای کارایی برای مقادیر متفاوت از توابع عضویت و سپس میانگین محاسبه شدند. لرت‌وراسیریکال و همکاران (۲۰۰۳) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های احتمال را برای تحلیل پوششی داده‌های فازی پیشنهاد کردند. در این مورد خاص که داده‌های فازی اعداد فازی دوزنقه‌ای هستند، مدل تحلیل پوششی داده‌های احتمال به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود.

مشخصه‌ی اصلی تئوری مجموعه فازی (زیمرن، ۱۹۹۶) این است که در مجموعه‌ها/ اعداد فازی، درجه عدم‌عضویت یک عنصر برابر با یک منهای درجه عضویت آن است. بنابراین مجموع درجات عضویت و عدم‌عضویت یک عنصر برابر با یک می‌باشد. اما گاهی اوقات ممکن است در سنجش یک معیار فازی برای تیم تصمیم‌گیرنده نیز ابهام وجود داشته باشد. بنابراین اطلاعات برای تصمیم‌گیری مبهم و یا ناکافی خواهد بود، و این امکان وجود دارد که مجموع درجات عضویت و عدم‌عضویت یک عنصر کمتر از یک باشد. این بدین معناست که درجاتی از تردید^۱ باقی می‌ماند. قطعاً، تئوری مجموعه فازی (زیمرن، ۱۹۹۶) برای بررسی این نوع مسائل مناسب نیست؛ و تئوری مجموعه فازی شهودی^۲ مناسب‌تر است. مجموعه فازی شهودی (آتاناسوف، ۱۹۸۹) گسترشی از مجموعه فازی است که برای بررسی ابهام بسیار مفید است. مجموعه فازی شهودی هر دو درجه عضویت (پذیرش) و عدم‌عضویت (رد) یک عنصر را در نظر می‌گیرد به طوری که مجموع هر دو مقدار کمتر یا برابر با ۱ است. داده‌های فازی شهودی در مطالعاتی مانند بوران و همکاران (۲۰۰۹)، لی و همکاران (۲۰۱۰)، دانشور روینده (۲۰۱۱) و وی و همکاران (۲۰۱۲) دیده شده است. رضوی حاجی‌آقا و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی با خروجی‌های فازی شهودی را پیشنهاد کردند و کاربردش را برای موسسات مالی و اعتباری ارائه دادند. پوری و یاداو (۲۰۱۵) مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی را در بخش بانکداری در هند توسعه دادند به طوری که اطلاعات ذهنی دو ورودی یعنی نیروی کار و هزینه‌های عملیاتی به وسیله اعداد فازی شهودی مثلثی ارائه شده‌اند.

¹. Degrees of Hesitate

². Intuitionistic Fuzzy Set (IFS)

۲-۶ توسعه تحلیل پوششی داده‌های قطعی به تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی

۲-۶-۱ تحلیل پوششی داده‌ها (DAE)

برای تشریح کارایی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در محیط‌های قطعی، فرض کنید عملکرد یک مجموعه از n واحد تصمیم‌گیرنده متجانس $(DMU_j; j = 1, 2, 3, \dots, n)$ اندازه‌گیری شده باشد. عملکرد DMU_j با یک فرآیند تولید از m ورودی $x_{ij}; i = 1, 2, 3, \dots, m$ توصیف شده است تا S خروجی $y_{rj}; r = 1, 2, 3, \dots, S$ را تولید کند. فرض کنید که داده‌های ورودی و خروجی مثبت هستند.

براساس چارنز وهمکاران (۱۹۷۸) نسبت خروجی واقعی به ورودی واقعی هر DMU_k ، کارایی k امین واحد تصمیم‌گیرنده نامیده می‌شود. کارایی قطعی DMU_k با E_k مشخص می‌شود و با مدل (۲-۵۴) داده شده در زیر ارزیابی می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{Max } E_k &= \frac{\sum_{r=1}^S u_{rk} y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik}} \\ \text{s. t: } & \frac{\sum_{r=1}^S u_{rk} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij}} \leq 1, \forall j = 1, \dots, n, \\ & u_{rk} \geq \varepsilon, \forall r = 1, \dots, S, \\ & v_{ik} \geq \varepsilon, \forall i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (2-54)$$

در مدل (۲-۵۴) y_{rk} مقدار r امین خروجی تولید شده توسط k امین واحد تصمیم‌گیرنده؛ x_{ik} مقدار i امین ورودی استفاده شده توسط k امین واحد تصمیم‌گیرنده؛ u_{rk} و v_{ik} به ترتیب وزن‌های مربوط به i امین ورودی و r امین خروجی از DMU_k ؛ و ε بی‌نهایت کوچک غیرارشمیدسی است.

با استفاده از تبدیل چارنز- کوپر مدل (۲-۵۴) می‌تواند به شکل برنامه‌ریزی خطی داده شده زیر تبدیل شود.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } E_k = \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rk} \\
& \text{s. t: } \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ik} = 1, \\
& \sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij} \leq 0, \quad \forall j = 1, \dots, n \\
& u_{rk} \geq \varepsilon, \quad \forall r = 1, \dots, s, \\
& v_{ik} \geq \varepsilon, \quad \forall i = 1, \dots, m, \quad \varepsilon > 0
\end{aligned} \tag{55-2}$$

k امین واحد تصمیم‌گیرنده کارا است اگر $E_k^* = 1$ در غیر این صورت ناکارا خواهد بود. همه DMUهای کارایی مرز کارایی را تشکیل می‌دهند.

۲-۶-۲ تحلیل پوششی داده‌های فازی (FDEA)

برای تشریح کارایی با استفاده تحلیل پوششی داده‌ها در محیط‌های فازی، فرض کنید که عملکرد یک مجموعه از n واحد تصمیم‌گیرنده متجانس ($DMU_j; j = 1, 2, 3, \dots, n$) ارزیابی شده باشد. عملکرد DMU_j با یک فرآیند تولید از m ورودی فازی $\tilde{x}_{ij}, i = 1, \dots, m$ برای تولید s خروجی فازی $\tilde{y}_{rj}, r = 1, \dots, s$ توصیف شده است. فرض کنید همه ورودی‌ها و خروجی‌های فازی اعداد فازی مثبت هستند. کارایی فازی k امین واحد تصمیم‌گیرنده با \tilde{E}_k مشخص می‌شود و می‌تواند از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی داده شده (۵۶-۲) اندازه‌گیری شود.

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \tilde{E}_k = \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk} \otimes \tilde{y}_{rk} \\
& \text{s. t: } \sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik} \otimes \tilde{x}_{ik} = \tilde{1}, \\
& \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk} \otimes \tilde{y}_{rj} \ominus \sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik} \otimes \tilde{x}_{ij} \leq \tilde{0}, \quad \forall j = 1, \dots, n \\
& \tilde{u}_{rk} \geq \varepsilon, \quad \forall r = 1, \dots, s, \\
& \tilde{v}_{ik} \geq \varepsilon, \quad \forall i = 1, \dots, m, \quad \varepsilon > 0
\end{aligned} \tag{56-2}$$

در مدل (۵۶-۲) \tilde{y}_{rk} مقدار r امین خروجی فازی تولید شده توسط k امین واحد تصمیم‌گیرنده؛ \tilde{x}_{ik} مقدار i امین ورودی فازی مصرف شده توسط k امین واحد تصمیم‌گیرنده؛ \tilde{v}_{ik}

و \tilde{u}_{rk} به ترتیب وزن‌های فازی برای i امین ورودی فازی و r امین خروجی فازی DMU_k ؛ و ε بی‌نهایت کوچک غیرارشمیدسی است.

۳-۶-۲ تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی (IFDEA)

برای ارزیابی عملکرد با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در محیط‌های فازی شهودی، فرض کنید عملکرد واحد تصمیم‌گیرنده متجانس ($DMU_j; j = 1, \dots, n$) اندازه‌گیری شود. DMU_j ، m ورودی فازی شهودی $\tilde{x}_{ij}^I, i = 1, \dots, m$ برای تولید s خروجی فازی شهودی $\tilde{y}_{rj}^I, r = 1, \dots, s$ مصرف می‌کند. $\tilde{y}_{rj}^I = (y_1^{rj}, y_2^{rj}, y_3^{rj}; y_1'^{rj}, y_2'^{rj}, y_3'^{rj})$ و $\tilde{x}_{ij}^I = (x_1^{ij}, x_2^{ij}, x_3^{ij}; x_1'^{ij}, x_2'^{ij}, x_3'^{ij})$ با شرط $y_1'^{rj} > 0, \forall r, j$ و $x_1'^{ij} > 0, \forall i, j$ به ترتیب اعداد فازی شهودی مثلثی مثبت هستند. برای محاسبه کارایی فازی شهودی سیستم پوری و یاداو (۲۰۱۵) مدل زیر را توسعه دادند:

$$\begin{aligned} \max \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I \\ \text{s. t: } \sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I &= \tilde{1}^I, \\ \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I \ominus \sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ij}^I &\leq \tilde{0}^I, j = 1, \dots, n, \\ \tilde{u}_{rk}^I &\geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\ \tilde{v}_{ik}^I &\geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (57-2)$$

در مدل (۵۷-۲) $k = 1, \dots, n$ و نشان‌دهنده واحد تحت ارزیابی؛ مقدار \tilde{y}_{rk}^I مقدار r امین خروجی فازی شهودی تولید شده توسط k امین واحد تصمیم‌گیرنده؛ مقدار \tilde{x}_{ik}^I مقدار i امین ورودی فازی شهودی مصرف شده توسط k امین واحد تصمیم‌گیرنده؛ $\tilde{v}_{ik}^I = (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_1'^{ik}, v_2'^{ik}, v_3'^{ik})$ و $\tilde{u}_{rk}^I = (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_1'^{rk}, u_2'^{rk}, u_3'^{rk})$ به ترتیب وزن‌های فازی شهودی برای i امین ورودی فازی شهودی و r امین خروجی فازی شهودی از k امین واحد تصمیم‌گیرنده و ارائه شده با اعداد فازی شهودی مثلثی؛ و ε بی‌نهایت کوچک غیرارشمیدسی است. در مطالعه حاضر $\tilde{0}^I = (0,0,0; 0,0,0)$ و $\tilde{1}^I = (1,1,1; 1,1,1)$ خواهد بود.

۴-۶-۲ روشی برای حل مدل IFDEA

با استفاده از مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های فازی شهودی، و وزن‌های فازی شهودی معادل آن‌ها در مدل

IFDEA، مدل آن به شکل زیر کاهش می‌یابد:

$$\begin{aligned}
 \max \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^s (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_2^{rk}, u_{3'}^{rk}) \otimes (y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}; y_{1'}^{rk}, y_2^{rk}, y_{3'}^{rk}) \\
 s. t: \quad &\sum_{i=1}^m (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_2^{ik}, v_{3'}^{ik}) \otimes (x_1^{ik}, x_2^{ik}, x_3^{ik}; x_{1'}^{ik}, x_2^{ik}, x_{3'}^{ik}) = \\
 &(1,1,1; 1,1,1), \\
 &\sum_{r=1}^s (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_2^{rk}, u_{3'}^{rk}) \otimes (y_1^{rj}, y_2^{rj}, y_3^{rj}; y_{1'}^{rj}, y_2^{rj}, y_{3'}^{rj}) \ominus \\
 &\sum_{i=1}^m (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_2^{ik}, v_{3'}^{ik}) \otimes (x_1^{ij}, x_2^{ij}, x_3^{ij}; x_{1'}^{ij}, x_2^{ij}, x_{3'}^{ij}) \leq \\
 &(0,0,0; 0,0,0), \forall j = 1, \dots, n, \\
 &(u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_2^{rk}, u_{3'}^{rk}) \geq \varepsilon, \forall r = 1, \dots, s, \\
 &(v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_2^{ik}, v_{3'}^{ik}) \geq \varepsilon, \forall i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0
 \end{aligned} \tag{۵۸-۲}$$

با استفاده از عملیات حسابی ارائه شده در بخش ۴-۱-۳، مدل (۵۸-۲) می‌تواند به شکل زیر تبدیل

شود:

$$\begin{aligned}
 \max \tilde{E}_k^I &= \\
 &(\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=1}^s u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) \\
 s. t: \quad &(\sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ik}; \sum_{i=1}^m v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik}) = \\
 &(1,1,1; 1,1,1), \\
 &(\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rj} - \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ij}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rj} - \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ij}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rj} - \\
 &\sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ij}, \sum_{r=1}^s u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rj} - \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ij}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rj} - \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ij}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj} - \\
 &\sum_{i=1}^m v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ij}) \leq (0,0,0; 0,0,0), \forall j = 1, \dots, n, \\
 &u_3^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, \forall r = 1, \dots, s, \\
 &v_3^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, \forall i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0
 \end{aligned} \tag{۵۹-۲}$$

مدل ۲ یک مسئله برنامه‌ریزی خطی فازی شهودی (IFLPP) است که به سادگی می‌تواند به مسئله برنامه‌ریزی خطی قطعی با استفاده از ارزش منتظره مبتنی بر روش رتبه‌بندی- که در بخش ۲-۴-۱-۳ شرح داده شد و در مدل زیر داده شده است- تبدیل شود:

$$\begin{aligned} \max \quad & EV(\tilde{E}_k^I) = \\ & EV((\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rk})) \\ \text{s. t:} \quad & EV((\sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ik}; \sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ik})) = \\ & EV((1,1,1; 1,11)), \\ & EV((\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rj} - \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ij}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rj} - \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ij}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rj} - \\ & \sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ij}, \sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rj} - \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ij}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rj} - \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ij}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rj} - \\ & \sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ij})) \leq EV((0,0,0; 0,0,0)), \forall j = 1, \dots, n, \\ & u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, \forall r = 1, \dots, s, \\ & v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, \forall i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (۶۰-۲)$$

با استفاده از ارزش منتظره اعداد فازی شهودی مثلثی داده شده در بخش ۲-۴-۱-۳، مدل (۶۰-۲) به مدل مسئله برنامه‌ریزی خطی قطعی زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \quad & E_k^I = 1/8(\sum_{r=1}^s (u_{1'}^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_3^{rk})) \\ \text{s. t:} \quad & \sum_{i=1}^m (v_{1'}^{ik} x_1^{ik} + v_1^{ik} x_1^{ik} + 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_3^{ik}) = 8, \\ & \sum_{r=1}^s (u_{1'}^{rk} y_1^{rj} + u_1^{rk} y_1^{rj} + 4u_2^{rk} y_2^{rj} + u_3^{rk} y_3^{rj} + u_{3'}^{rk} y_3^{rj}) - \sum_{i=1}^m (v_{1'}^{ik} x_1^{ij} + \\ & v_1^{ik} x_1^{ij} + 4v_2^{ik} x_2^{ij} + v_3^{ik} x_3^{ij} + v_{3'}^{ik} x_3^{ij}) \leq 0, \forall j = 1, \dots, n, \\ & u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, \forall r = 1, \dots, s, \\ & v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, \forall i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (۶۱-۲)$$

مدل (۶۱-۲) یک مدل مسئله برنامه‌ریزی خطی قطعی و شناخته شده به عنوان مدل محیط فازی شهودی است و E_k^{I*} به عنوان کارایی محیط فازی شهودی DMU_k شناخته شده است.

براساس مباحث ارائه شده فوق می‌توان بیان کرد که

۱- k امین واحد تصمیم‌گیرنده کارای محیط فازی شهودی است اگر $E_k^{I*} = 1$ ؛ در غیر این صورت ناکارای محیط فازی شهودی است.

۲- کارایی فازی شهودی DMU_k با $\tilde{E}_k^I = \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I$ تعریف شده است، به طوری که $\tilde{u}_{rk}^I = (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_1'^{rk}, u_2'^{rk}, u_3'^{rk})$ وزن بهینه r امین خروجی فازی شهودی DMU_k به دست آمده از مدل (۶۱-۲) است.



فصل سوم: روش‌شناسی تحقیق

ارزیابی عملکرد یک گام ضروری در مسیر موفقیت سازمانی است که ابزاری برای اندازه‌گیری بهبود سازمان در مسیر دستیابی به اهداف و مأموریت فراهم می‌آورد. ارزیابی عملکرد به مدیران کمک می‌کند تا سازمان‌شان را برای دست یافتن به مزیت، رهبری و اهداف موثر راهنمایی کنند. سی‌مونس (۲۰۰۰) ارزیابی عملکرد و کنترل سیستم را به عنوان رویه‌های رسمی مبتنی بر اطلاعاتی که مدیران برای بقاء و بهبود الگوی سازمانی خود استفاده می‌کنند، تعریف کرد. براساس این تعریف، ارزیابی عملکرد سیستم چهار ویژگی زیر را خواهد داشت:

۱. هدف هر سیستم، کنترل و ارزیابی عملکرد داده‌ها است.
۲. ارزیابی عملکرد و کنترل سیستم مبتنی بر رویه‌های رسمی است.
۳. ارزیابی عملکرد و کنترل سیستم در شکل‌های خاص طراحی شده است تا توسط مدیران استفاده گردد.
۴. مدیران، ارزیابی عملکرد و کنترل سیستم را برای بقاء یا تغییر الگوی فعال سازمانی خود استفاده می‌کنند.

تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یک روش ناپارامتری برای ارزیابی کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس همه چهار ویژگی این سیستم‌ها را به عنوان روش ارزیابی عملکرد دارد. این روش داده‌ها را به یک شیوه موثر انتقال می‌دهد، ساختارش تعریف شده و کاربردش در بهبود واحدهای سازمانی موثر است.

در محاسبه‌ی کارایی با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌های معمولی، واحدهای تصمیم‌گیرنده به عنوان یک کل (جعبه سیاه^۱) در نظر گرفته می‌شوند. در حالی که در بسیاری از موارد، سیستم‌ها از چندین فرآیند تشکیل شده‌اند؛ برای مثال، یک دانشگاه از دپارتمان‌هایی تشکیل شده که هر یکی چندین

^۱. Black-Box

ورودی برای تولید چندین خروجی استفاده می‌کنند. اگر تصمیم‌گیرنده علاقه‌مند به اندازه‌گیری عملکرد یک دپارتمان خاص باشد مدل برای ورودی‌ها و خروجی‌های آن دپارتمان به کار خواهد رفت. اما زمانی که هدف اندازه‌گیری کارایی کل دانشگاه باشد شرایط تغییر خواهد کرد در این صورت اگر از مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی استفاده شود ممکن است سیستم کارا ارزیابی شود در حالی که برخی از دپارتمان‌های آن ناکارا باشند (کائو، ۲۰۱۲). همان‌طور که مطرح گردید سیستم‌هایی که با بیشتر از یک فرآیند به یکدیگر متصل شده‌اند شبکه نامیده می‌شوند. مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی این نوع از سیستم‌ها به ساختار شبکه در سوال وابسته است. فیر و کروسکوپ (۱۹۹۶، ۲۰۰۰) و فیر و همکاران (۲۰۰۷) چندین مدل شبکه‌ای را توسعه دادند که می‌تواند برای بررسی انواع متنوعی از مدل تحلیل پوششی داده‌های استاندارد استفاده شود.

به طور معمول یک سیستم شبکه‌ای یک ساختار ساده سری یا موازی نیست و اندازه‌گیری کارایی و تکنیک تجزیه کائو و هوانگ (۲۰۰۸) و یا کائو (۲۰۰۹) نمی‌تواند به طور مستقیم برای اندازه‌گیری عملکرد یک سیستم شبکه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود، ایده توجه به عملیات فرآیندهای درونی می‌تواند در اندازه‌گیری کارایی سیستم در نظر گرفته شود. علاوه بر این، با استفاده از فرآیندهای مجازی، یک سیستم شبکه‌ای می‌تواند با یک ساختار سری ارائه شود به طوری که هر مرحله در ساختار سری، یک ساختار موازی متشکل از مجموعه‌ای از فرآیندها است.

در صورت در نظر گرفتن ساختارهای شبکه‌ای در اندازه‌گیری کارایی، اگر کارایی سیستم به طور صحیح اندازه‌گیری شود مجموع عملکرد اجزا فرآیند را نشان می‌دهد. با تجزیه کارایی، فرآیندی که سبب عملیات ناکارای سیستم می‌شود می‌تواند برای بهبودهای آینده شناسایی گردد.

در بعضی مواقع ورودی‌ها و خروجی‌ها تحت شرایط عدم قطعیت تعریف و اندازه‌گیری شده‌اند. در حقیقت، یکی از مفروضات مدل‌های کلاسیک تحلیل داده‌ها قطعیت داده‌های آنها است. با این وجود در شرایطی

که عدم قطعیت یک ویژگی اجتناب ناپذیر از یک محیط واقعی است، فرض قطعیت داده‌ها و مشاهدات، معقول به نظر نمی‌رسد. همچنین اکثر تصمیم‌های مدیریت براساس محاسبات شناخته شده ایجاد نشده است و عدم قطعیت و ابهام زیادی در مسائل تصمیم‌گیری وجود دارد.

زاده (۱۹۷۵) معتقد است "چون پیچیدگی سیستم افزایش می‌یابد، توانایی ما برای بیان موضوعات خاص درباره رفتار کاهش می‌یابد". در پاسخ به نیاز برای وجود یک چهارچوب رسمی برای مقابله با عدم قطعیت، ایده‌های متنوعی در احتمال و آمار، منطق فازی و تئوری سیستم‌های خاکستری ارائه شده است. در مسائل تحلیل پوششی داده‌ها، خروجی‌هایی مانند رضایت مشتری، مسئولیت اجتماعی و غیره مثال‌های متنوعی هستند که ماهیت ذهنی دارند و اندازه‌گیری آنها به طور دقیق پیچیده است. در این مورد، توسعه مدل‌های زیادی براساس تحلیل پوششی داده‌ها تحت عدم قطعیت توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است (رضوی حاجی‌آقا، ۲۰۱۳). نظریه مجموعه‌های فازی شهودی به دلیل کارایی بالا و شبیه‌سازی نظرات تصمیم‌گیرندگان می‌تواند به‌عنوان یک گزینه جذاب برای مواجهه با عدم قطعیت در اندازه‌گیری کارایی مطرح باشد. ژو و کوک (۲۰۰۷) تنوع وسیعی از عدم قطعیت را در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها مطالعه کردند.

در ادامه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در محیط‌های فازی شهودی جهت اندازه‌گیری کارایی سیستم و زیر واحدها و همچنین شناسایی زیر واحدهای ناکارا در یک سیستم تولیدی معرفی می‌شود.

۳-۲ روش‌ها و ابزارهای جمع‌آوری اطلاعات

ابزار سنجش و اندازه‌گیری، وسایلی هستند که محقق به کمک آنها می‌تواند متغیرها را اندازه‌گیری و اطلاعات موردنیاز را برای تجزیه و تحلیل و بررسی پدیده‌ی مورد مطالعه و نهایتاً کشف حقیقت گردآوری نماید؛ بنابراین باید به‌گونه‌ای طراحی و سازمان‌دهی شوند که بتوانند اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری و سنجش متغیرها را به نحو مطلوب جمع‌آوری نمایند. بنابراین در تعریف ابزار اندازه‌گیری می‌توان گفت:

برای اندازه‌گیری عملکرد سازمان از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. برای گردآوری ورودی‌ها و خروجی‌های موردنظر از گزارش‌های مالی و بازاریابی شرکت، نظرات خبرگان و کارشناسان بخش بازاریابی استفاده گردیده است.

۳-۳ ارائه مدل موازی با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی شهودی

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های موازی برای اندازه‌گیری کارایی سیستم و زیر واحدها به داده‌های قطعی و فازی محدود شده است. با این وجود، در مسائل دنیای واقعی، بعضی ورودی‌ها و خروجی‌ها در ساختارهای موازی ممکن است به جای قطعی یا فازی ماهیت فازی شهودی داشته باشند. مدل تحلیل پوششی داده‌های موازی فازی شهودی^۱، کارایی سیستم و زیر واحدها را به لحاظ کارایی فازی شهودی زمانی که بعضی از مشاهدات اعداد فازی شهودی هستند و سیستم ساختار موازی دارد اندازه می‌گیرد. کارایی فازی شهودی برای سیستم‌های تولید موازی با مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \quad & \tilde{E}_k^I = \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I = \tilde{1}^I, \\ & \sum_{r \in O(p)} \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^{I(p)} \ominus \sum_{i \in I(p)} \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ij}^{I(p)} \leq \tilde{0}^I, p = 1, \dots, q, j = 1, \dots, n, \\ & \tilde{u}_{rk}^I \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\ & \tilde{v}_{ik}^I \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (1-3)$$

برای خودارزیابی سیستم‌های تولید موازی با ورودی‌ها و خروجی‌های فازی شهودی، فرض کنید عملکرد n برش زمانی از یک واحد تصمیم‌گیرنده $(DMU_j; j = 1, \dots, n)$ با p ($p = 1, \dots, q$) فرآیند تولید اندازه‌گیری شده است. هر فرآیند تولید p ، m ورودی فازی شهودی $\tilde{x}_{ij}^{I(p)}, i = 1, \dots, m, p =$

¹. Intuitionistic fuzzy parallel data envelopment analysis

$1, \dots, q$ برای تولید s خروجی فازی شهودی $\tilde{y}_{rj}^{I(P)}$, $r = 1, \dots, s, p = 1, \dots, q$ استفاده می‌کند؛ و k برش زمانی تحت ارزیابی را نشان می‌دهد. ($k = 1, \dots, n$)

اگر $(\tilde{u}_{rk}^{I*}; \tilde{v}_{ik}^{I*})$ یک جواب بهینه از مدل (۱-۳) باشد، سپس کارایی فازی شهودی سیستم و زیر واحدها می‌توانند مانند زیر محاسبه شوند:

$$\tilde{E}_k^I = \frac{\sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} = \sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I \quad (۲-۳)$$

$$\tilde{E}_k^{I(p)} = \frac{\sum_{r \in O(p)} \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^{I(p)}}{\sum_{i \in I(p)} \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}, p = 1, \dots, q \quad (۳-۳)$$

اگر وزن مربوط به فرآیند p به عنوان مجموع ورودی فازی شهودی مصرف شده به وسیله این فرآیند به

ورودی‌های فازی شهودی مصرف شده به وسیله همه q فرآیند تعریف شود، $\tilde{W}^{I(p)} =$

$$\frac{\sum_{i \in I(p)} \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I}$$

در این صورت میانگین کارایی فازی شهودی q فرآیند، کارایی فازی شهودی سیستم است که مانند زیر تعریف می‌شود:

قضیه ۱-۳. کارایی فازی شهودی سیستم با q فرآیند موازی، میانگین موزون کارایی فازی شهودی q فرآیند است.

$$\tilde{W}^{I(p)} = \frac{\sum_{i \in I(p)} \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \text{ اثبات. فرض کنید}$$

$$\tilde{E}_k^I = \sum_{p=1}^q \tilde{W}^{I(p)} \tilde{E}_k^{I(p)}, \sum_{p=1}^q \tilde{W}^{I(p)} = 1, \tilde{W}^{I(p)} \geq 0, p = 1, \dots, q$$

داریم

$$\sum_{p=1}^q \tilde{W}^{I(p)} \tilde{E}_k^{I(p)} = \sum_{p=1}^q \left[\left(\frac{\sum_{i \in I(p)} \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \right) \left(\frac{\sum_{r \in O(p)} \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^{I(p)}}{\sum_{i \in I(p)} \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}} \right) \right] = \sum_{p=1}^q \left(\frac{\sum_{r \in O(p)} \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \right) = \frac{\sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I}$$

(۴-۳)

به عبارت دیگر،

$$\sum_{p=1}^q \tilde{w}^{I(p)} = \sum_{p=1}^q \frac{\sum_{i \in I^{(p)}} \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} = \frac{\sum_{p=1}^q \sum_{i \in I^{(p)}} \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} =$$

$$\frac{\sum_{i \in I^{(P)}} \sum_{p=1}^q \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} = \frac{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} = 1$$

بنابراین،

$$\tilde{w}^{I(p)} = \frac{\sum_{i \in I^{(p)}} \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^{I(p)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \geq 0$$

زیرا

$$\tilde{v}_{ik}^{I^*} \geq 0 \text{ and all } \tilde{x}_{ik}^{I(p)} \geq 0.$$

قضیه ۳-۲. مقدار بهینه مدل (۱-۳) بزرگتر از مقدار بهینه مدل (۵۷-۲) نیست، به این معنی که امتیاز کارایی فازی شهودی یک واحد تصمیم‌گیرنده در یک ساختار موازی کمتر مساوی کارایی فازی شهودی آن واحد با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی است. زیرا محدودیت‌ها در مدل شبکه‌ای قوی‌تر از مدل معمولی است در نتیجه امتیاز کارایی موازی فازی شهودی پایین‌تری به دست خواهد آمد.

اثبات. فرض کنید جواب شدنی مطلق از مدل (۱-۳)، $(\tilde{v}_{ik}^{I^*}, \tilde{u}_{rk}^{I^*})$ ، است بنابراین محدودیت مربوطه را می‌توان مانند زیر بیان کرد.

$$\sum_{r \in O^{(p)}} \tilde{u}_{rk}^{I^*} \otimes \tilde{y}_{rj}^{I(p)} \ominus \sum_{i \in I^{(p)}} \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ij}^{I(p)} \leq 0, p = 1, \dots, q, j = 1, \dots, n,$$

اگر مجموعه بالا از محدودیت‌ها بر روی شاخص فرآیند p جمع شوند، مقادیر زیر به دست می‌آیند.

$$\sum_{p=1}^q \sum_{r \in O^{(p)}} \tilde{u}_{rk}^{I^*} \otimes \tilde{y}_{rj}^{I(p)} \ominus \sum_{p=1}^q \sum_{i \in I^{(p)}} \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ij}^{I(p)} \leq 0, j = 1, \dots, n \Rightarrow$$

$$\sum_{r \in O^{(p)}} \sum_{p=1}^q \tilde{u}_{rk}^{I^*} \otimes \tilde{y}_{rj}^{I(p)} \ominus \sum_{i \in I^{(p)}} \sum_{p=1}^q \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ij}^{I(p)} \leq 0, j = 1, \dots, n \Rightarrow$$

$$\sum_{r=1}^s \tilde{u}_{rk}^{I^*} \otimes \tilde{y}_{rj}^I \ominus \sum_{i=1}^m \tilde{v}_{ik}^{I^*} \otimes \tilde{x}_{ij}^I \leq 0, j = 1, \dots, n.$$

که مجموعه محدودیت مدل (۵۷-۲) است. توجه کنید که مجموعه محدودیت دیگر و تابع هدف در هر دو مدل یکسان هستند. این نشان می‌دهد که $(\tilde{v}_{ik}^{I*}, \tilde{u}_{rk}^{I*})$ ، جواب شدنی از مدل (۵۷-۲) است و بنابراین $\tilde{E}_k^I(1-3) \leq \tilde{E}_k^I(2-57)$ به این معنی است که کارایی فازی شهودی یک واحد تصمیم‌گیرنده در یک ساختار موازی کمتر از کارایی فازی شهودی معمولی آن است.

مدل (۱-۳) می‌تواند به مدل زیر تبدیل شود:

$$\begin{aligned} \max \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^s (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_2^{rk}, u_{3'}^{rk}) \otimes (y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}; y_{1'}^{rk}, y_2^{rk}, y_{3'}^{rk}) \\ \text{s. t: } &\sum_{i=1}^m (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_2^{ik}, v_{3'}^{ik}) \otimes (x_1^{ik}, x_2^{ik}, x_3^{ik}; x_{1'}^{ik}, x_2^{ik}, x_{3'}^{ik}) = \\ &(1,1,1; 1,1,1), \\ &\sum_{r=1}^s (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_2^{rk}, u_{3'}^{rk}) \otimes \\ &\left(y_1^{rj(p)}, y_2^{rj(p)}, y_3^{rj(p)}; y_{1'}^{rj(p)}, y_2^{rj(p)}, y_{3'}^{rj(p)} \right) \ominus \\ &\sum_{i=1}^m (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_2^{ik}, v_{3'}^{ik}) \otimes \\ &\left(x_1^{ij(p)}, x_2^{ij(p)}, x_3^{ij(p)}; x_{1'}^{ij(p)}, x_2^{ij(p)}, x_{3'}^{ij(p)} \right) \leq (0,0,0; 0,0,0), p = 1, \dots, q, j = \\ &1, \dots, n, \\ &(u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_2^{rk}, u_{3'}^{rk}) \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\ &(v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_2^{ik}, v_{3'}^{ik}) \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \end{aligned} \quad (5-3)$$

با استفاده از قوانین ارائه شده در بخش ۲-۴-۱-۳، مدل (۵-۳) می‌تواند به شکل زیر تبدیل شود:

$$\begin{aligned} \max \tilde{E}_k^I &= \\ &(\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=1}^s u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) \\ \text{s. t: } &(\sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ik}; \sum_{i=1}^m v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik}) = \\ &(1,1,1; 1,1,1), \\ &(\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rj(p)} - \\ &\sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ij(p)}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rj(p)} - \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ij(p)}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rj(p)} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ij(p)}, \sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rj(p)} - \\
& \left(\sum_{i=1}^m v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ij(p)}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rj(p)} - \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ij(p)}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj(p)} - \sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ij(p)} \right) \leq \\
& (0,0,0; 0,0,0), p = 1, \dots, q, j = 1, \dots, n, \\
& u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\
& v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \tag{۶-۳}
\end{aligned}$$

مدل (۶-۳) یک مسئله برنامه‌ریزی خطی فازی شهودی موازی است که با استفاده از ارزش منتظره ارائه

شده در بخش ۲-۴-۱-۳ به یک مسئله برنامه‌ریزی قطعی موازی تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
& \max EV(\tilde{E}_k^I) = \\
& EV\left(\left(\sum_{r=1}^s u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=1}^s u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}\right)\right) \\
& s. t: EV\left(\left(\sum_{i=1}^m v_1^{ik} x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^{ik} x_3^{ik}; \sum_{i=1}^m v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik}\right)\right) = \\
& EV((1,1,1; 1,1,1)), \\
& EV\left(\left(\sum_{r \in O(p)} u_1^{rk} y_1^{rj(p)} - \sum_{i \in I(p)} v_3^{ik} x_3^{ij(p)}, \right. \right. \\
& \left. \left. \sum_{r \in O(p)} u_2^{rk} y_2^{rj(p)} - \sum_{i \in I(p)} v_2^{ik} x_2^{ij(p)}, \sum_{r \in O(p)} u_3^{rk} y_3^{rj(p)} - \sum_{i \in I(p)} v_1^{ik} x_1^{ij(p)}, \right. \right. \\
& \left. \left. \sum_{r \in O(p)} u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rj(p)} - \sum_{i \in I(p)} v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ij(p)}, \sum_{r \in O(p)} u_2^{rk} y_2^{rj(p)} - \sum_{i \in I(p)} v_2^{ik} x_2^{ij(p)}, \right. \right. \\
& \left. \left. \sum_{r \in O(p)} u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj(p)} - \sum_{i \in I(p)} v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ij(p)}\right)\right) \leq EV((0,0,0; 0,0,0)), p = 1, \dots, q, j = \\
& 1, \dots, n, \quad u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\
& v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0 \tag{۷-۳}
\end{aligned}$$

با استفاده از مقادیر ارزش منتظره اعداد فازی شهودی مثلثی، مدل (۷-۳) به مدل برنامه‌ریزی خطی

قطعی موازی زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
& \max E_k^I = 1/8\left(\sum_{r=1}^s (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})\right) \\
& s. t: \sum_{i=1}^m (v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik} + v_1^{ik} x_1^{ik} + 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik}) = 8, \\
& \sum_{r \in O(p)} (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rj(p)} + u_1^{rk} y_1^{rj(p)} + 4u_2^{rk} y_2^{rj(p)} + u_3^{rk} y_3^{rj(p)} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj(p)}) -
\end{aligned}$$

$$\sum_{i \in I^{(p)}} (v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ij(p)} + v_1^{ik} x_1^{ij(p)} + 4v_2^{ik} x_2^{ij(p)} + v_3^{ik} x_3^{ij(p)} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ij(p)}) \leq 0, p = 1, \dots, q, j = 1, \dots, n,$$

$$u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s,$$

$$v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \varepsilon > 0. \quad (۸-۳)$$

در این صورت کارایی قطعی سیستم و زیر واحدها مانند زیر محاسبه می‌شوند:

$$E_k^I = \frac{\sum_{r=1}^s (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})}{\sum_{i=1}^m (v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik} + v_1^{ik} x_1^{ik} + 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik})} = 1/8 (\sum_{r=1}^s (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) \quad (۹-۳)$$

$$E_k^{I(p)} = \frac{\sum_{r \in O(p)} (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rj(p)} + u_1^{rk} y_1^{rj(p)} + 4u_2^{rk} y_2^{rj(p)} + u_3^{rk} y_3^{rj(p)} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj(p)})}{\sum_{i \in I^{(p)}} (v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ij(p)} + v_1^{ik} x_1^{ij(p)} + 4v_2^{ik} x_2^{ij(p)} + v_3^{ik} x_3^{ij(p)} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ij(p)})}, p = 1, \dots, q$$

(۱۰-۳)

۳-۴ ارائه مدل سری با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی شهودی

مدل تحلیل پوششی داده‌های سری فازی شهودی، کارایی سیستم و زیر واحدهای آن را به لحاظ فازی شهودی زمانی که بعضی ورودی‌ها و خروجی‌ها اعداد فازی شهودی هستند و سیستم ساختار سری دارد اندازه می‌گیرد. کارایی فازی شهودی برای سیستم‌های تولید سری با مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی سری زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I \\ \sum_{f \in M^{(1)}} \tilde{w}_f^I \otimes \tilde{z}_{fj}^{I(1)} \ominus \sum_{i=1}^m \tilde{v}_i^I \otimes \tilde{x}_{ij}^I &\leq \tilde{0}^I, j = 1, \dots, n, \\ \sum_{f \in M^{(p)}} \tilde{w}_f^I \otimes \tilde{z}_{fj}^{I(p)} \ominus \sum_{f \in M^{(p-1)}} \tilde{w}_f^I \otimes \tilde{z}_{fj}^{I(p-1)} &\leq \tilde{0}^I, p = 2, \dots, q-1, j = 1, \dots, n, \\ \sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I - \sum_{f \in M^{(q-1)}} \tilde{w}_f^I \otimes \tilde{z}_{fj}^{I(q-1)} &\leq \tilde{0}^I, j = 1, \dots, n, \\ \tilde{u}_r^I, \tilde{v}_i^I, \tilde{w}_f^I &\geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, i = 1, \dots, m, f = 1, \dots, g, \end{aligned} \quad (۱۱-۳)$$

برای خودارزیابی سیستم‌های سری با ورودی‌ها و خروجی‌های فازی شهودی، فرض کنید که عملکرد n برش زمانی از یک واحد تصمیم‌گیرنده $(DMU_j; j = 1, \dots, n)$ با p فرآیند تولید اندازه‌گیری شده است. اولین فرآیند ورودی‌های $X_i, i = 1, \dots, m$ را که از بیرون عرضه شده است، استفاده می‌کند تا تولیدات میانی $Z_f^{(1)}, f \in M^{(1)}$ را برای استفاده فرآیند ۲ تولید کند. در فرآیندهای بعدی، هر فرآیند p تولیدات میانی $Z_f^{(p-1)}, f \in M^{(p-1)}$ را استفاده می‌کند، که به وسیله فرآیند قبلی $p - 1$ تولید شده‌اند، تا تولیدات میانی $Z_f^{(p)}, f \in M^{(p)}$ را برای استفاده فرآیندهای بعدی $p + 1$ تولید کند. آخرین فرآیند q تولیدات میانی $Z_f^{(q-1)}, f \in M^{(q-1)}$ را برای تولید خروجی‌های نهایی $Y_r, r = 1, \dots, s$ استفاده می‌کند.

اگر $(\tilde{u}_r^{I*}; \tilde{v}_i^{I*})$ یک جواب بهینه از مدل (۱۱-۳) باشد، سپس کارایی فازی شهودی سیستم و زیر واحدهای آن می‌توانند مانند زیر محاسبه شوند:

$$\tilde{E}_k^I = \frac{\sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_i^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} = \sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I \quad (12-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(1)} = \frac{\sum_{f \in M^{(1)}} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{Z}_{fk}^{I(1)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_i^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \quad (13-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(p)} = \frac{\sum_{f \in M^{(p)}} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{Z}_{fk}^{I(p)}}{\sum_{f \in M^{(p-1)}} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{Z}_{fk}^{I(p-1)}}, p = 2, \dots, q - 1 \quad (14-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(q)} = \frac{\sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{f \in M^{(q-1)}} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{Z}_{fk}^{I(q-1)}} \quad (15-3)$$

قضیه ۳-۳. کارایی فازی شهودی سیستم با q فرآیند و با ساختار سری، ضرب کارایی فازی شهودی q فرآیند است.

$$\prod_{p=1}^q \tilde{E}_k^{I(p)} = \left[\frac{\sum_{f \in M(1)} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{z}_{fk}^{I(1)}}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_i^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \right] \left[\prod_{p=2}^{q-1} \frac{\sum_{f \in M(p)} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{z}_{fk}^{I(p)}}{\sum_{f \in M(p-1)} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{z}_{fk}^{I(p-1)}} \right] \left[\frac{\sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{f \in M(q-1)} \tilde{w}_f^{I*} \otimes \tilde{z}_{fk}^{I(q-1)}} \right] = \frac{\sum_{r=1}^s \tilde{u}_r^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=1}^m \tilde{v}_i^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I} \quad (16-3)$$

قضیه ۳-۴. مقدار بهینه مدل (۱۱-۳) بزرگتر از مقدار بهینه مدل (۵۷-۲) نیست، به این معنی که امتیاز کارایی فازی شهودی یک واحد تصمیم‌گیرنده در یک ساختار سری کمتر مساوی کارایی فازی شهودی آن واحد با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های معمولی است.

با استفاده از مقادیر ورودی و خروجی فازی شهودی و وزن‌های فازی شهودی معادل آنها در مدل تحلیل پوششی داده‌های سری فازی شهودی، مدل (۱۱-۳) به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^s (u_1^r, u_2^r, u_3^r; u_1^r, u_2^r, u_3^r) \otimes (y_1^r, y_2^r, y_3^r; y_1^r, y_2^r, y_3^r) \\ s. t: \quad &\sum_{i=1}^m (v_1^i, v_2^i, v_3^i; v_1^i, v_2^i, v_3^i) \otimes (x_1^i, x_2^i, x_3^i; x_1^i, x_2^i, x_3^i) = (1, 1, 1; 1, 1, 1), \\ &\sum_{f \in M(1)} (w_1^f, w_2^f, w_3^f; w_1^f, w_2^f, w_3^f) \otimes \\ &\left(z_1^{fj(1)}, z_2^{fj(1)}, z_3^{fj(1)}; z_1^{fj(1)}, z_2^{fj(1)}, z_3^{fj(1)} \right) \ominus \sum_{i=1}^m (v_1^i, v_2^i, v_3^i; v_1^i, v_2^i, v_3^i) \otimes \\ &\left(x_1^{ij}, x_2^{ij}, x_3^{ij}; x_1^{ij}, x_2^{ij}, x_3^{ij} \right) \leq (0, 0, 0; 0, 0, 0), j = 1, \dots, n, \\ &\sum_{f \in M(p)} (w_1^f, w_2^f, w_3^f; w_1^f, w_2^f, w_3^f) \otimes \\ &\left(z_1^{fj(p)}, z_2^{fj(p)}, z_3^{fj(p)}; z_1^{fj(p)}, z_2^{fj(p)}, z_3^{fj(p)} \right) \ominus \\ &\sum_{f \in M(p-1)} (w_1^f, w_2^f, w_3^f; w_1^f, w_2^f, w_3^f) \otimes \\ &\left(z_1^{fj(p-1)}, z_2^{fj(p-1)}, z_3^{fj(p-1)}; z_1^{fj(p-1)}, z_2^{fj(p-1)}, z_3^{fj(p-1)} \right) \leq \\ &(0, 0, 0; 0, 0, 0), p = 2, \dots, q-1, j = 1, \dots, n, \\ &\sum_{r=1}^s (u_1^r, u_2^r, u_3^r; u_1^r, u_2^r, u_3^r) \otimes (y_1^{rj}, y_2^{rj}, y_3^{rj}; y_1^{rj}, y_2^{rj}, y_3^{rj}) \ominus \\ &\sum_{f \in M(q-1)} (w_1^f, w_2^f, w_3^f; w_1^f, w_2^f, w_3^f) \otimes \end{aligned}$$

$$(z_1^{fj(q-1)}, z_2^{fj(q-1)}, z_3^{fj(q-1)}; z_{1'}^{fj(q-1)}, z_{2'}^{fj(q-1)}, z_{3'}^{fj(q-1)}) \leq (0,0,0; 0,0,0), j = 1, \dots, n,$$

$$u_{3'}^r \geq u_3^r \geq u_2^r \geq u_1^r \geq u_{1'}^r \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s,$$

$$v_{3'}^i \geq v_3^i \geq v_2^i \geq v_1^i \geq v_{1'}^i \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m,$$

$$w_{3'}^f \geq w_3^f \geq w_2^f \geq w_1^f \geq w_{1'}^f \geq \varepsilon, f = 1, \dots, g, \varepsilon > 0 \quad (17-3)$$

با استفاده از قوانین ارائه شده در بخش ۲-۴-۱-۳، مدل (۱۷-۳) به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$\max \tilde{E}_k^I =$$

$$(\sum_{r=1}^s u_1^r y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^r y_3^{rk}; \sum_{r=1}^s u_{1'}^r y_{1'}^{rk}, \sum_{r=1}^s u_{2'}^r y_{2'}^{rk}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^r y_{3'}^{rk})$$

$$s.t: (\sum_{i=1}^m v_1^i x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^i x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^i x_3^{ik}; \sum_{i=1}^m v_{1'}^i x_{1'}^{ik}, \sum_{i=1}^m v_{2'}^i x_{2'}^{ik}, \sum_{i=1}^m v_{3'}^i x_{3'}^{ik}) = (1,1,1; 1,11),$$

$$(\sum_{f \in M(1)} w_1^f Z_1^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_3^i x_3^{ij}, \sum_{f \in M(1)} w_2^f Z_2^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_2^i x_2^{ij},$$

$$\sum_{f \in M(1)} w_3^f Z_3^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_1^i x_1^{ij}, \sum_{f \in M(1)} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_{3'}^i x_{3'}^{ij},$$

$$\sum_{f \in M(1)} w_{2'}^f Z_{2'}^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_{2'}^i x_{2'}^{ij}, \sum_{f \in M(1)} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_{1'}^i x_{1'}^{ij}) \leq$$

$$(0,0,0; 0,0,0), j = 1, \dots, n,$$

$$(\sum_{f \in M(p)} w_1^f Z_1^{fj(p)} - \sum_{f \in M(p-1)} w_3^f Z_3^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M(p)} w_2^f Z_2^{fj(p)} -$$

$$\sum_{f \in M(p-1)} w_2^f Z_2^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M(p)} w_3^f Z_3^{fj(p)} - \sum_{f \in M(p-1)} w_1^f Z_1^{fj(p-1)},$$

$$\sum_{f \in M(p)} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(p)} - \sum_{f \in M(p-1)} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M(p)} w_{2'}^f Z_{2'}^{fj(p)} -$$

$$\sum_{f \in M(p-1)} w_2^f Z_2^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M(p)} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(p)} - \sum_{f \in M(p-1)} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(p-1)}) \leq$$

$$(0,0,0; 0,0,0), p = 2, \dots, q-1, j = 1, \dots, n,$$

$$(\sum_{r=1}^s u_1^r y_1^{rj} - \sum_{f \in M(q-1)} w_3^f Z_3^{fj(q-1)},$$

$$\sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rj} - \sum_{f \in M(q-1)} w_2^f Z_2^{fj(q-1)}, \sum_{r=1}^s u_3^r y_3^{rj} - \sum_{f \in M(q-1)} w_1^f Z_1^{fj(q-1)},$$

$$\sum_{r=1}^s u_{1'}^r y_{1'}^{rj} - \sum_{f \in M(q-1)} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(q-1)},$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_2^f Z_2^{fj(q-1)}, \sum_{r=1}^s u_3^r y_3^{rj} - \\
& \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_1^f Z_1^{fj(q-1)}) \leq (0,0,0; 0,0,0), j = 1, \dots, n, \\
& u_{3'}^r \geq u_3^r \geq u_2^r \geq u_1^r \geq u_{1'}^r \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\
& v_{3'}^i \geq v_3^i \geq v_2^i \geq v_1^i \geq v_{1'}^i \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \\
& w_{3'}^i \geq w_3^i \geq w_2^i \geq w_1^i \geq w_{1'}^i \geq \varepsilon, f = 1, \dots, g, \varepsilon > 0 \tag{۱۸-۳}
\end{aligned}$$

مدل (۱۸-۳) یک مسئله برنامه‌ریزی خطی فازی شهودی سری است که با استفاده از ارزش منتظره بحث شده در بخش ۲-۴-۱-۳ به یک مسئله برنامه‌ریزی قطعی سری تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
& \max EV(\tilde{E}_k^l) = \\
& EV\left(\left(\sum_{r=1}^s u_1^r y_1^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_3^r y_3^{rk}; \sum_{r=1}^s u_{1'}^r y_{1'}^{rk}, \sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rk}, \sum_{r=1}^s u_{3'}^r y_{3'}^{rk}\right)\right) \\
& \text{s. t: } EV\left(\left(\sum_{i=1}^m v_1^i x_1^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^i x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_3^i x_3^{ik}; \sum_{i=1}^m v_{1'}^i x_{1'}^{ik}, \sum_{i=1}^m v_2^i x_2^{ik}, \sum_{i=1}^m v_{3'}^i x_{3'}^{ik}\right)\right) = \\
& EV((1,1,1; 1,1,1)), \\
& EV\left(\left(\sum_{f \in M^{(1)}} w_1^f Z_1^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_3^i x_3^{ij}, \sum_{f \in M^{(1)}} w_2^f Z_2^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_2^i x_2^{ij}, \right. \right. \\
& \left. \sum_{f \in M^{(1)}} w_3^f Z_3^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_1^i x_1^{ij}, \sum_{f \in M^{(1)}} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_{3'}^i x_{3'}^{ij}, \right. \\
& \left. \sum_{f \in M^{(1)}} w_2^f Z_2^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_2^i x_2^{ij}, \sum_{f \in M^{(1)}} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(1)} - \sum_{i=1}^m v_{1'}^i x_{1'}^{ij}\right) \leq \\
& EV((0,0,0; 0,0,0)), j = 1, \dots, n, \\
& EV\left(\left(\sum_{f \in M^{(p)}} w_1^f Z_1^{fj(p)} - \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_3^f Z_3^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M^{(p)}} w_2^f Z_2^{fj(p)} - \right. \right. \\
& \left. \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_2^f Z_2^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M^{(p)}} w_3^f Z_3^{fj(p)} - \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_1^f Z_1^{fj(p-1)}, \right. \\
& \left. \sum_{f \in M^{(p)}} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(p)} - \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M^{(p)}} w_2^f Z_2^{fj(p)} - \right. \\
& \left. \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_2^f Z_2^{fj(p-1)}, \sum_{f \in M^{(p)}} w_{3'}^f Z_{3'}^{fj(p)} - \sum_{f \in M^{(p-1)}} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(p-1)}\right) \leq \\
& EV((0,0,0; 0,0,0)), p = 2, \dots, q-1, j = 1, \dots, n, \\
& EV\left(\left(\sum_{r=1}^s u_1^r y_1^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_3^f Z_3^{fj(q-1)}, \right. \right. \\
& \left. \sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_2^f Z_2^{fj(q-1)}, \sum_{r=1}^s u_3^r y_3^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_{1'}^f Z_{1'}^{fj(q-1)}, \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{r=1}^s u_1^r y_1^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_3^f Z_3^{fj(q-1)}, \\
& \left(\sum_{r=1}^s u_2^r y_2^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_2^f Z_2^{fj(q-1)}, \sum_{r=1}^s u_3^r y_3^{rj} - \sum_{f \in M^{(q-1)}} w_1^f Z_1^{fj(q-1)} \right) \leq \\
& EV((0,0,0; 0,0,0)), j = 1, \dots, n, \\
& u_3^r \geq u_3^r \geq u_2^r \geq u_1^r \geq u_1^r \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\
& v_3^i \geq v_3^i \geq v_2^i \geq v_1^i \geq v_1^i \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \\
& w_3^f \geq w_3^f \geq w_2^f \geq w_1^f \geq w_1^f \geq \varepsilon, f = 1, \dots, g, \varepsilon > 0 \tag{۱۹-۳}
\end{aligned}$$

با استفاده از ارزش منتظره بحث شده در بخش ۲-۴-۱-۳، مدل (۱۹-۳) به شکل زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
& \max E_k^I = 1/8 \left(\sum_{r=1}^s (u_1^r y_1^{rk} + u_1^r y_1^{rk} + 4u_2^r y_2^{rk} + u_3^r y_3^{rk} + u_3^r y_3^{rk}) \right) \\
& \text{s. t: } \sum_{i=1}^m (v_1^i x_1^{ik} + v_1^i x_1^{ik} + 4v_2^i x_2^{ik} + v_3^i x_3^{ik} + v_3^i x_3^{ik}) = 8, \\
& \sum_{f \in M^{(1)}} (w_1^f Z_1^{fj(1)} + w_1^f Z_1^{fj(1)} + 4w_2^f Z_2^{fj(1)} + w_3^f Z_3^{fj(1)} + w_3^f Z_3^{fj(1)}) - \\
& \sum_{i=1}^m (v_1^i x_1^{ij} + v_1^i x_1^{ij} + 4v_2^i x_2^{ij} + v_3^i x_3^{ij} + v_3^i x_3^{ij}) \leq 0, j = 1, \dots, n, \\
& \sum_{f \in M^{(p)}} (w_1^f Z_1^{fj(p)} + w_1^f Z_1^{fj(p)} + 4w_2^f Z_2^{fj(p)} + w_1^f Z_1^{fj(p)} w_3^f Z_3^{fj(p)} + \\
& w_3^f Z_3^{fj(p)}) - \sum_{f \in M^{(p-1)}} (w_1^f Z_1^{fj(p-1)} + w_2^f Z_2^{fj(p-1)} + 4w_2^f Z_2^{fj(p-1)} + \\
& w_3^f Z_3^{fj(p-1)} + w_3^f Z_3^{fj(p-1)}) \leq 0, p = 2, \dots, q-1, j = 1, \dots, n, \\
& \sum_{r=1}^s (u_1^r y_1^{rj} + u_1^r y_1^{rj} + 4u_2^r y_2^{rj} + u_3^r y_3^{rj} + u_3^r y_3^{rj}) - \\
& \sum_{f \in M^{(q-1)}} (w_1^f Z_1^{fj(q-1)} + w_2^f Z_2^{fj(q-1)} + 4w_2^f Z_2^{fj(q-1)} + w_3^f Z_3^{fj(q-1)} + \\
& w_3^f Z_3^{fj(q-1)}) \leq 0, \forall j = 1, \dots, n, \\
& u_3^r \geq u_3^r \geq u_2^r \geq u_1^r \geq u_1^r \geq \varepsilon, r = 1, \dots, s, \\
& v_3^i \geq v_3^i \geq v_2^i \geq v_1^i \geq v_1^i \geq \varepsilon, i = 1, \dots, m, \\
& w_3^f \geq w_3^f \geq w_2^f \geq w_1^f \geq w_1^f \geq \varepsilon, f = 1, \dots, g, \varepsilon > 0 \tag{۲۰-۳}
\end{aligned}$$

بنابراین کارایی قطعی سیستم و زیر واحدها مانند زیر محاسبه می‌شوند:

$$E_k^I = \frac{\sum_{r=1}^s (u_1^r y_1^{rk} + u_1^r y_1^{rk} + 4u_2^r y_2^{rk} + u_3^r y_3^{rk} + u_3^r y_3^{rk})}{\sum_{i=1}^m (v_1^i x_1^{ik} + v_1^i x_1^{ik} + 4v_2^i x_2^{ik} + v_3^i x_3^{ik} + v_3^i x_3^{ik})} = 1/8 (\sum_{r=1}^s (u_1^r y_1^{rk} + u_1^r y_1^{rk} + 4u_2^r y_2^{rk} + u_3^r y_3^{rk} + u_3^r y_3^{rk})) \quad (21-3)$$

$$E_k^{(1)} = \frac{\sum_{f \in M(1)} (w_1^f Z_1^{ff(1)} + w_1^f Z_1^{ff(1)} + 4w_2^f Z_2^{ff(1)} + w_3^f Z_3^{ff(1)} + w_3^f Z_3^{ff(1)})}{\sum_{i=1}^m (v_1^i x_1^{ij} + v_1^i x_1^{ij} + 4v_2^i x_2^{ij} + v_3^i x_3^{ij} + v_3^i x_3^{ij})} \quad (22-3)$$

$$E_k^{I(p)} = \frac{\sum_{f \in M(p)} (w_1^f Z_1^{ff(p)} + w_1^f Z_1^{ff(p)} + 4w_2^f Z_2^{ff(p)} + w_3^f Z_3^{ff(p)} + w_3^f Z_3^{ff(p)})}{\sum_{f \in M(p-1)} (w_1^f Z_1^{ff(p-1)} + w_1^f Z_1^{ff(p-1)} + 4w_2^f Z_2^{ff(p-1)} + w_3^f Z_3^{ff(p-1)} + w_3^f Z_3^{ff(p-1)})}, p = 2, \dots, q-1 \quad (23-3)$$

$$E_k^{I(q)} = \frac{\sum_{r=1}^s (u_1^r y_1^{rj} + u_1^r y_1^{rj} + 4u_2^r y_2^{rj} + u_3^r y_3^{rj} + u_3^r y_3^{rj})}{\sum_{f \in M(q-1)} (w_1^f Z_1^{ff(q-1)} + w_1^f Z_1^{ff(q-1)} + 4w_2^f Z_2^{ff(q-1)} + w_3^f Z_3^{ff(q-1)} + w_3^f Z_3^{ff(q-1)})} \quad (24-3)$$

۳-۵ ارائه مدل شبکه‌ای چند مرحله‌ای (سری - موازی) با کمک تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها

در محیط فازی شهودی

برای تبدیل سیستم شبکه‌ای کلی به یک ساختار سری یا موازی، کائو (۲۰۱۴) استفاده از فرآیندهای مجازی را برای حمل کردن ورودی‌ها و خروجی‌های میانی پیشنهاد کرد. فرآیندهای مجازی، ورودی‌ها و خروجی‌های یکسان دارند و فقط برای کمک به نمایش ارائه می‌شوند. برای سیستم چند مرحله‌ای شبکه‌ای، فقط یک مسیر، سری از q فرآیند، وجود دارد. در هر مرحله، یک فرآیند مجازی - که به شکل موازی با یک فرآیند واقعی متصل شده است - اضافه می‌شود تا ورودی‌ها برای استفاده در مرحله بعد و خروجی‌های تولید شده در مرحله قبل را حمل کند. سیستم تولید شرکت سیم و کابل مغان در شکل (۳-۲) چنین تبدیلی از سیستم شکل (۳-۱) را نشان می‌دهد، به طوری که مربع‌ها و دایره‌ها به ترتیب فرآیندهای واقعی و مجازی هستند.

یکی از بهبودهای مهم در این زمینه مربوط به شرایطی است که ورودی‌ها و خروجی‌ها تحت شرایط عدم قطعیت تعریف و اندازه‌گیری شده‌اند. در حقیقت، یکی از مفروضات مدل‌های کلاسیک تحلیل داده‌ها

قطعیت داده‌های آنها است. با این وجود، در شرایطی که عدم قطعیت یک ویژگی اجتناب‌ناپذیر از یک محیط واقعی است، فرض قطعیت داده‌ها و مشاهدات مشکوک به نظر می‌رسد. همچنین اکثر تصمیم‌های مدیریت براساس محاسبات شناخته شده ایجاد نشده است و عدم قطعیت و ابهام زیادی در مسائل تصمیم‌گیری وجود دارد (رضوی حاجی‌آقا و همکاران، ۲۰۱۳).

براساس مباحث فوق، برای خودارزیابی سیستم سری- موازی (شبکه‌ای) سیم و کابل مغان با داده‌های فازی شهودی می‌توان از مدل زیر استفاده نمود:

$$\begin{aligned}
 \max \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I \\
 s. t: \sum_{i=1}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I &= \tilde{1}^I, \\
 \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{Y}_{1j}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{Z}_{1j}^I \ominus \tilde{v}_{1k}^I \otimes \tilde{X}_{1j}^I &\leq \tilde{0}^I, j = 1, \dots, n, \\
 \tilde{u}_{2k}^I \otimes \tilde{Y}_{2j}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^I \otimes \tilde{Z}_{2j}^I \ominus (\tilde{v}_{2k}^I \otimes \tilde{X}_{2j}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{Z}_{1j}^I) &\leq \tilde{0}^I, j = 1, \dots, n, \\
 \sum_{r=3}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I \ominus (\tilde{v}_{3k}^I \otimes \tilde{X}_{3j}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^I \otimes \tilde{Z}_{2j}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I) &\leq \tilde{0}^I, j = \\
 1, \dots, n, \tilde{u}_{1k}^I, \tilde{u}_{2k}^I, \tilde{u}_{3k}^I, \tilde{u}_{4k}^I, \tilde{u}_{5k}^I, \tilde{u}_{6k}^I, \tilde{v}_{1k}^I, \tilde{v}_{2k}^I, \tilde{v}_{3k}^I, \tilde{w}_{1k}^I, \tilde{w}_{2k}^I &\geq \varepsilon, \quad (25-3)
 \end{aligned}$$

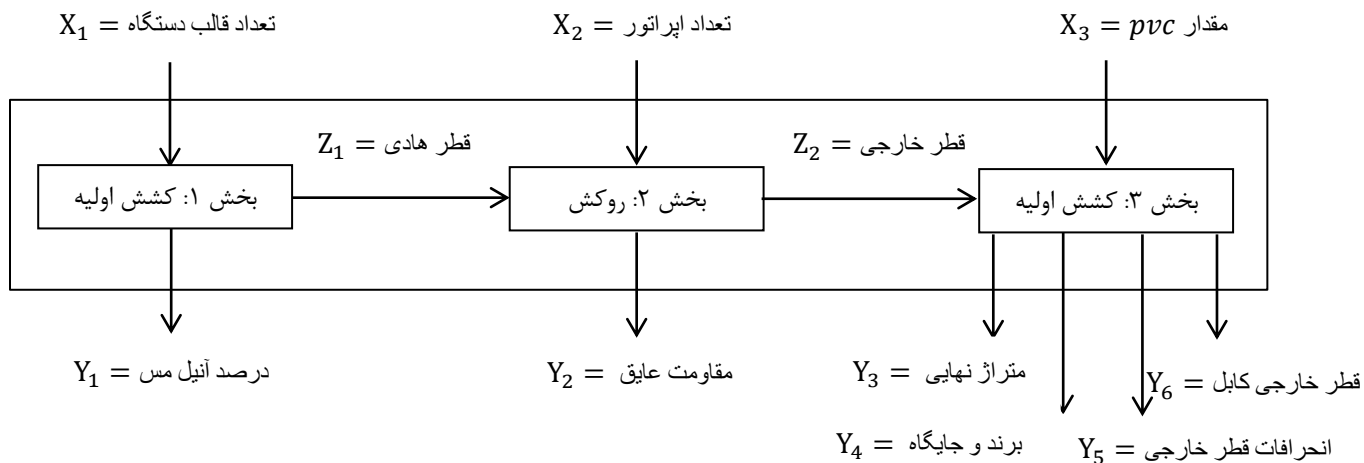
در این سیستم دو مورد از خروجی‌های بخش ۳، نامطلوب (هدف کاهش آنها را داریم) می‌باشند، با چنین خروجی‌هایی مشابه ورودی رفتار می‌شود. براساس مدل (۲۵-۳) کارایی سیستم و زیر واحدها می‌توانند به شکل زیر محاسبه شوند:

$$\tilde{E}_k^I = \frac{\sum_{r=1}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=1}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I} = \sum_{r=1}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I \quad (26-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(1)} = \frac{\tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{Y}_{1k}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{Z}_{1k}^I}{\tilde{v}_{1k}^I \otimes \tilde{X}_{1k}^I} \quad (27-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(2)} = \frac{\tilde{u}_{2k}^I \otimes \tilde{Y}_{2k}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^I \otimes \tilde{Z}_{2k}^I}{\tilde{v}_{2k}^I \otimes \tilde{X}_{2k}^I + \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{Z}_{1k}^I} \quad (28-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(3)} = \frac{\sum_{r=3}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\tilde{v}_{3k}^I \otimes \tilde{X}_{3k}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^I \otimes \tilde{Z}_{2k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I} \quad (29-3)$$



شکل (۳-۱): فرآیند تولید محصول در شرکت سیم و کابل مغان

سیستم تبدیل شده از شکل (۳-۱) سه بخش دارد که به شکل سری (شکل ۳-۲)، به یکدیگر متصل شده‌اند. کارایی هر بخش از تقسیم مجموع خروجی‌ها به مجموع ورودی‌ها به دست می‌آید.

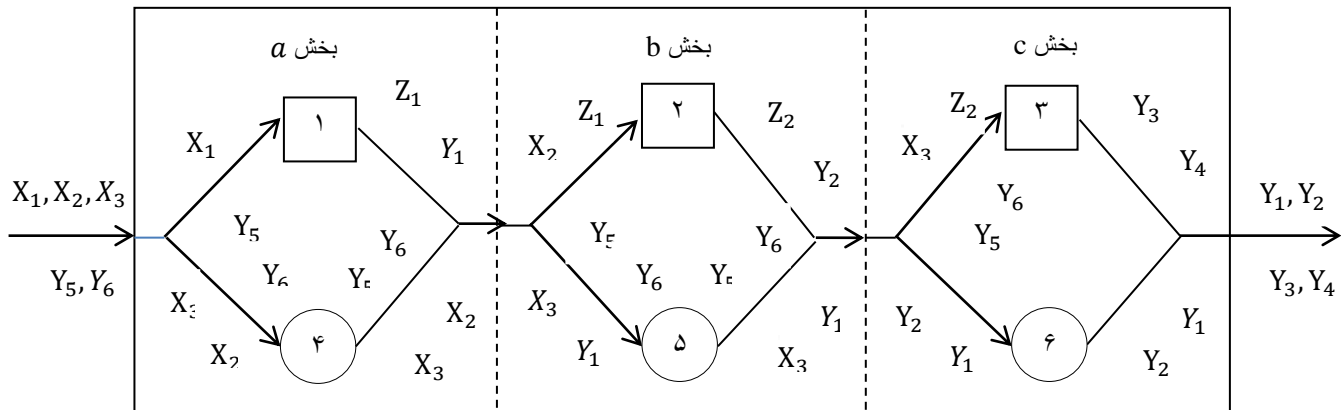
$$\tilde{E}_k^{I(a)} = \frac{\sum_{i=2}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{z}_{1k}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{y}_{1k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=1}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I} \quad (30-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(b)} = \frac{\tilde{v}_3^I \otimes \tilde{x}_{3k}^I \oplus \tilde{w}_2^I \otimes \tilde{z}_{2k}^I \oplus \tilde{u}_1^I \otimes \tilde{y}_{1k}^I \oplus \tilde{u}_2^I \otimes \tilde{y}_{2k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\sum_{i=2}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{z}_{1k}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{y}_{1k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I} \quad (31-3)$$

$$\tilde{E}_k^{I(c)} = \frac{\sum_{r=1}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I}{\tilde{v}_3^I \otimes \tilde{x}_{3k}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^I \otimes \tilde{z}_{2k}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{y}_{1k}^I + \tilde{u}_{2k}^I \otimes \tilde{y}_{2k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I} \quad (32-3)$$

برای اطمینان از این که کارایی بخش کمتر یا برابر یک است، مجموع خروجی‌های هر بخش نباید بزرگتر از مجموع ورودی‌ها باشد.

$$\begin{aligned} & (\sum_{i=2}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ij}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{z}_{1j}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{y}_{1j}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I) \ominus \\ & (\sum_{i=1}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ij}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I) \leq 0 \\ & (\tilde{v}_3^I \otimes \tilde{x}_{3j}^I \oplus \tilde{w}_2^I \otimes \tilde{z}_{2j}^I \oplus \tilde{u}_1^I \otimes \tilde{y}_{1j}^I \oplus \tilde{u}_2^I \otimes \tilde{y}_{2j}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I) \ominus \\ & (\sum_{i=2}^3 \tilde{v}_{ik}^I \otimes \tilde{x}_{ij}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{z}_{1j}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{y}_{1j}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I) \leq 0 \\ & (\sum_{r=1}^4 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rk}^I) \ominus (\tilde{v}_3^I \otimes \tilde{x}_{3j}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^I \otimes \tilde{z}_{2j}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^I \otimes \tilde{y}_{1j}^I + \tilde{u}_{2k}^I \otimes \tilde{y}_{2j}^I \oplus \\ & \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^I \otimes \tilde{y}_{rj}^I) \leq 0 \end{aligned}$$



شکل (۲-۳): سیستم سری- موازی تبدیل شده از سیستم شبکه‌ای کلی شرکت سیم و کابل

با حذف کردن عبارات یکسان، این سه محدودیت دقیقاً معادل با محدودیت‌های مرتبط با زیر واحد در مدل (۲۵-۳) هستند.

هر یک از سه بخش یک ساختار موازی دارد که از یک فرآیند واقعی و یک فرآیند مجازی تشکیل شده است. چون ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیند مجازی یکسان است، محدودیت مربوطه زائد، و امتیاز کارایی یک است. کارایی هر بخش (سیستم موازی) میانگین موزون کارایی فرآیندهای واقعی و مجازی است:

$$\tilde{E}_k^{I(a)} = \tilde{W}^{I(1)} \tilde{E}_k^{I(1)} \oplus \tilde{W}^{I(4)} \tilde{E}_k^{I(4)} = \tilde{W}^{I(1)} \tilde{E}_k^{I(1)} \oplus (\tilde{I}^I \ominus \tilde{W}^{I(1)}) \quad (۳۴-۳)$$

$$\tilde{E}_k^{I(b)} = \tilde{W}^{I(2)} \tilde{E}_k^{I(2)} \oplus \tilde{W}^{I(5)} \tilde{E}_k^{I(5)} = \tilde{W}^{I(2)} \tilde{E}_k^{I(2)} \oplus (\tilde{I}^I \ominus \tilde{W}^{I(2)}) \quad (۳۵-۳)$$

$$\tilde{E}_k^{I(c)} = \tilde{W}^{I(3)} \tilde{E}_k^{I(3)} \oplus \tilde{W}^{I(6)} \tilde{E}_k^{I(6)} = \tilde{W}^{I(3)} \tilde{E}_k^{I(3)} \oplus (\tilde{I}^I \ominus \tilde{W}^{I(3)}) \quad (۳۶-۳)$$

به طوری که

$$\tilde{W}^{I(1)} = \frac{\tilde{v}_{1k}^{I*} \otimes \tilde{x}_{1k}^I}{\sum_{i=1}^3 \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I} \quad (۳۷-۳)$$

$$\tilde{W}^{I(2)} = \frac{(\tilde{v}_{2k}^I \otimes \tilde{x}_{2k}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^I \otimes \tilde{z}_{1k}^I)}{(\sum_{i=2}^3 \tilde{v}_{ik}^{I*} \otimes \tilde{x}_{ik}^I \oplus \tilde{w}_{1k}^{I*} \otimes \tilde{z}_{1k}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^{I*} \otimes \tilde{y}_{1k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I)} \quad (۳۸-۳)$$

$$\tilde{W}^{I(3)} = \frac{(\tilde{v}_{3k}^{I*} \otimes \tilde{x}_{3k}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^{I*} \otimes \tilde{z}_{2k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I)}{(\tilde{v}_{3k}^{I*} \otimes \tilde{x}_{3k}^I \oplus \tilde{w}_{2k}^{I*} \otimes \tilde{z}_{2k}^I \oplus \tilde{u}_{1k}^{I*} \otimes \tilde{y}_{1k}^I \oplus \tilde{u}_{2k}^{I*} \otimes \tilde{y}_{2k}^I \oplus \sum_{r=5}^6 \tilde{u}_{rk}^{I*} \otimes \tilde{y}_{rk}^I)} \quad (۳۹-۳)$$

براساس شکل (۲-۳) کارایی سیستم سری- موازی حاصل ضرب کارایی‌های فازی شهودی سه بخش است.

$$\tilde{E}_k^I = \tilde{E}_k^{I(a)} \otimes \tilde{E}_k^{I(b)} \otimes \tilde{E}_k^{I(c)} = [\tilde{w}^{I(1)} \tilde{E}_k^{I(1)} \oplus (\tilde{1}^I \ominus \tilde{w}^{I(1)})][\tilde{w}^{I(2)} \tilde{E}_k^{I(2)} \oplus (\tilde{1}^I \ominus \tilde{w}^{I(2)})][\tilde{w}^{I(3)} \tilde{E}_k^{I(3)} \oplus (\tilde{1}^I \ominus \tilde{w}^{I(3)})] \quad (40-3)$$

این نتایج می‌تواند به موارد کلی‌تر q مرحله‌ای با ورودی‌ها و خروجی‌ها و تولیدات میانی فازی شهودی بیشتر توسعه داده شود تا قضیه زیر را داشته باشیم.

قضیه ۳-۴. کارایی سیستم‌های شبکه‌ای با n بخش، q فرآیند و داده‌های فازی شهودی، حاصل ضرب کارایی فازی شهودی تعدیل شده n بخش است، به طوری که کارایی فازی شهودی تعدیل شده بخش، میانگین موزون کارایی فازی شهودی فرآیند واقعی و مجازی است.

$$\tilde{E}_k^I = \prod_{p=1}^q [\tilde{w}^{I(p)} \tilde{E}_k^{I(p)} \oplus (1 \ominus \tilde{w}^{I(p)})] \quad (41-3)$$

۳-۶ روشی برای حل مدل خودارزیابی سری - موازی فازی شهودی

یکی از روش‌ها برای ابهام‌زدایی مدل‌های فازی شهودی و به دست آوردن جواب‌های قطعی استفاده از تکنیک ارزش منتظره است که در بخش ۲-۴-۱-۳ شرح داده شده است. در ابتدا با استفاده از مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های فازی شهودی و وزن‌های فازی شهودی معادل آنها، مدل (۳-۲۵) می‌تواند به شکل زیر تبدیل شود:

$$\begin{aligned} \max \tilde{E}_k^I = & \\ & \sum_{r=1}^4 (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}) \otimes (y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}; y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}) \\ \text{s. t: } & \sum_{i=1}^3 (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}) \otimes (x_1^{ik}, x_2^{ik}, x_3^{ik}; x_1^{ik}, x_2^{ik}, x_3^{ik}) \oplus \\ & \sum_{r=5}^6 (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}) \otimes (y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}; y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}) = \\ & (1,1,1; 1,1,1), \\ & (u_1^{1k}, u_2^{1k}, u_3^{1k}; u_1^{1k}, u_2^{1k}, u_3^{1k}) \otimes (y_1^{1j}, y_2^{1j}, y_3^{1j}; y_1^{1j}, y_2^{1j}, y_3^{1j}) \oplus \\ & (w_1^{1k}, w_2^{1k}, w_3^{1k}; w_1^{1k}, w_2^{1k}, w_3^{1k}) \otimes (z_1^{1j}, z_2^{1j}, z_3^{1j}; z_1^{1j}, z_2^{1j}, z_3^{1j}) \ominus \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (v_1^{1k}, v_2^{1k}, v_3^{1k}; v_{1'}^{1k}, v_{2'}^{1k}, v_{3'}^{1k}) \otimes (x_1^{1j}, x_2^{1j}, x_3^{1j}; x_{1'}^{1j}, x_{2'}^{1j}, x_{3'}^{1j}) \leq \\
& (0,0,0; 0,0,0), j = 1, \dots, n, \\
& (u_1^{2k}, u_2^{2k}, u_3^{2k}; u_{1'}^{2k}, u_{2'}^{2k}, u_{3'}^{2k}) \otimes (y_1^{2j}, y_2^{2j}, y_3^{2j}; y_{1'}^{2j}, y_{2'}^{2j}, y_{3'}^{2j}) \oplus \\
& (w_1^{2k}, w_2^{2k}, w_3^{2k}; w_{1'}^{2k}, w_{2'}^{2k}, w_{3'}^{2k}) \otimes (z_1^{2j}, z_2^{2j}, z_3^{2j}; z_{1'}^{2j}, z_{2'}^{2j}, z_{3'}^{2j}) \ominus \\
& ((v_1^{2k}, v_2^{2k}, v_3^{2k}; v_{1'}^{2k}, v_{2'}^{2k}, v_{3'}^{2k}) \otimes (x_1^{2j}, x_2^{2j}, x_3^{2j}; x_{1'}^{2j}, x_{2'}^{2j}, x_{3'}^{2j}) \oplus \\
& (w_1^{1k}, w_2^{1k}, w_3^{1k}; w_{1'}^{1k}, w_{2'}^{1k}, w_{3'}^{1k}) \otimes (z_1^{1j}, z_2^{1j}, z_3^{1j}; z_{1'}^{1j}, z_{2'}^{1j}, z_{3'}^{1j})) \leq \\
& (0,0,0; 0,0,0), j = 1, \dots, n, \\
& \sum_{r=1}^4 (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_{2'}^{rk}, u_{3'}^{rk}) \otimes (y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}; y_{1'}^{rk}, y_{2'}^{rk}, y_{3'}^{rk}) \ominus \\
& ((v_1^{3k}, v_2^{3k}, v_3^{3k}; v_{1'}^{3k}, v_{2'}^{3k}, v_{3'}^{3k}) \otimes (x_1^{3j}, x_2^{3j}, x_3^{3j}; x_{1'}^{3j}, x_{2'}^{3j}, x_{3'}^{3j}) \oplus \\
& (w_1^{2k}, w_2^{2k}, w_3^{2k}; w_{1'}^{2k}, w_{2'}^{2k}, w_{3'}^{2k}) \otimes (z_1^{2j}, z_2^{2j}, z_3^{2j}; z_{1'}^{2j}, z_{2'}^{2j}, z_{3'}^{2j}) \oplus \\
& \sum_{r=5}^6 (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_{2'}^{rk}, u_{3'}^{rk}) \otimes (y_1^{rk}, y_2^{rk}, y_3^{rk}; y_{1'}^{rk}, y_{2'}^{rk}, y_{3'}^{rk})) \leq \\
& (0,0,0; 0,0,0), j = 1, \dots, n, \\
& (u_1^{rk}, u_2^{rk}, u_3^{rk}; u_{1'}^{rk}, u_{2'}^{rk}, u_{3'}^{rk}) \geq \varepsilon, r = 1, \dots, 6, \\
& (v_1^{ik}, v_2^{ik}, v_3^{ik}; v_{1'}^{ik}, v_{2'}^{ik}, v_{3'}^{ik}) \geq \varepsilon, i = 1, 2, 3, \\
& (w_1^{ik}, w_2^{ik}, w_3^{ik}, w_{1'}^{ik}, w_{2'}^{ik}, w_{3'}^{ik}) \geq \varepsilon, f = 1, 2, \varepsilon > 0 \tag{۴۲-۳}
\end{aligned}$$

با استفاده از ارزش منتظره و عملیات حسابی ارائه شده در بخش ۲-۴-۱-۳، مدل (۴۲-۳) به شکل زیر

تبدیل می شود:

$$\begin{aligned}
& \max EV(\tilde{E}_k^l) = \\
& EV((\sum_{r=1}^4 u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=1}^4 u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_{2'}^{rk} y_{2'}^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) \\
& s. t: EV((\sum_{i=1}^3 v_1^{ik} x_1^{ik}, \sum_{i=1}^3 v_2^{ik} x_2^{ik}, \sum_{i=1}^3 v_3^{ik} x_3^{ik}; \sum_{i=1}^3 v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik}, \sum_{i=1}^3 v_{2'}^{ik} x_{2'}^{ik}, \sum_{i=1}^3 v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik}) + \\
& (\sum_{r=5}^6 u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=5}^6 u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_{2'}^{rk} y_{2'}^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) = \\
& EV((1,1,1; 1,1,1)),
\end{aligned}$$

$$EV((u_1^{1k} y_1^{1j}, u_2^{1k} y_2^{1j}, u_3^{1k} y_3^{1j}; u_1^{1k} y_1^{1j}, u_2^{1k} y_2^{1j}, u_3^{1k} y_3^{1j}) + (w_1^{1k} Z_1^{1j}, w_2^{1k} Z_2^{1j}, w_3^{1k} Z_3^{1j}; w_1^{1k} Z_1^{1j}, w_2^{1k} Z_2^{1j}, w_3^{1k} Z_3^{1j}) - (v_1^{1k} x_1^{1j}, v_2^{1k} x_2^{1j}, v_3^{1k} x_3^{1j}; v_1^{1k} x_1^{1j}, v_2^{1k} x_2^{1j}, v_3^{1k} x_3^{1j})) \leq EV((0,0,0; 0,0,0)), j = 1, \dots, n,$$

$$EV((u_1^{2k} y_1^{2j}, u_2^{2k} y_2^{2j}, u_3^{2k} y_3^{2j}; u_1^{2k} y_1^{2j}, u_2^{2k} y_2^{2j}, u_3^{2k} y_3^{2j}) + (w_1^{2k} Z_1^{2j}, w_2^{2k} Z_2^{2j}, w_3^{2k} Z_3^{2j}; w_1^{2k} Z_1^{2j}, w_2^{2k} Z_2^{2j}, w_3^{2k} Z_3^{2j}) - ((v_1^{2k} x_1^{2j}, v_2^{2k} x_2^{2j}, v_3^{2k} x_3^{2j}; v_1^{2k} x_1^{2j}, v_2^{2k} x_2^{2j}, v_3^{2k} x_3^{2j}) + (w_1^{1k} Z_1^{1j}, w_2^{1k} Z_2^{1j}, w_3^{1k} Z_3^{1j}; w_1^{1k} Z_1^{1j}, w_2^{1k} Z_2^{1j}, w_3^{1k} Z_3^{1j}))) \leq EV((0,0,0; 0,0,0)), j = 1, \dots, n,$$

$$EV((\sum_{r=1}^4 u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=1}^4 u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=1}^4 u_3^{rk} y_3^{rk}) - ((v_1^{3k} x_1^{3j}, v_2^{3k} x_2^{3j}, v_3^{3k} x_3^{3j}; v_1^{3k} x_1^{3j}, v_2^{3k} x_2^{3j}, v_3^{3k} x_3^{3j}) + (w_1^{2k} Z_1^{1j}, w_2^{2k} Z_2^{1j}, w_3^{2k} Z_3^{1j}; w_1^{2k} Z_1^{1j}, w_2^{2k} Z_2^{1j}, w_3^{2k} Z_3^{1j}) + (\sum_{r=5}^6 u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_3^{rk} y_3^{rk}; \sum_{r=5}^6 u_1^{rk} y_1^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_2^{rk} y_2^{rk}, \sum_{r=5}^6 u_3^{rk} y_3^{rk}))) \leq EV((0,0,0; 0,0,0)), j = 1, \dots, n,$$

$$u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, r = 1, \dots, 6,$$

$$v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, i = 1, 2, 3,$$

$$w_{3'}^{fk} \geq w_3^{fk} \geq w_2^{fk} \geq w_1^{fk} \geq w_{1'}^{fk} \geq \varepsilon, f = 1, 2, \varepsilon > 0 \quad (43-3)$$

با استفاده از ارزش منتظره اعداد فازی شهودی مثلثی داده شده، مدل برنامه‌ریزی خطی سری- موازی

فازی شهودی (۴۳-۳) به مدل برنامه‌ریزی خطی سری- موازی قطعی زیر تبدیل می‌شود:

$$\max E_k^I = 1/8(\sum_{r=1}^4 (u_{1'}^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}))$$

$$s. t: \quad \sum_{i=1}^3 (v_{1'}^{ik} x_1^{ik} + v_1^{ik} x_1^{ik} + 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik}) +$$

$$\sum_{r=5}^6 (u_{1'}^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) = 8,$$

$$(u_{1'}^{1k} y_{1'}^{1j} + u_1^{1k} y_1^{1j} + 4u_2^{1k} y_2^{1j} + u_3^{1k} y_3^{1j} + u_{3'}^{1k} y_{3'}^{1j}) + (w_{1'}^{1k} z_{1'}^{1j} + w_1^{1k} z_1^{1j} + 4w_2^{1k} z_2^{1j} + w_3^{1k} z_3^{1j} + w_{3'}^{1k} z_{3'}^{1j}) - (v_1^{1k} x_1^{1j} + v_{1'}^{1k} x_{1'}^{1j} + 4v_2^{1k} x_2^{1j} + v_3^{1k} x_3^{1j} + v_{3'}^{1k} x_{3'}^{1j}) \leq 0, j = 1, \dots, n,$$

$$(u_{1'}^{2k} y_{1'}^{2j} + u_1^{2k} y_1^{2j} + 4u_2^{2k} y_2^{2j} + u_3^{2k} y_3^{2j} + u_{3'}^{2k} y_{3'}^{2j}) + (w_{1'}^{2k} z_{1'}^{2j} + w_1^{2k} z_1^{2j} + 4w_2^{2k} z_2^{2j} + w_3^{2k} z_3^{2j} + w_{3'}^{2k} z_{3'}^{2j}) - ((v_1^{2k} x_1^{2j} + v_{1'}^{2k} x_{1'}^{2j} + 4v_2^{2k} x_2^{2j} + v_3^{2k} x_3^{2j} + v_{3'}^{2k} x_{3'}^{2j}) + (w_{1'}^{1k} z_{1'}^{1j} + w_1^{1k} z_1^{1j} + 4w_2^{1k} z_2^{1j} + w_3^{1k} z_3^{1j} + w_{3'}^{1k} z_{3'}^{1j})) \leq 0, j = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{r=1}^4 (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rj} + u_1^{rk} y_1^{rj} + 4u_2^{rk} y_2^{rj} + u_3^{rk} y_3^{rj} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj}) - ((v_1^{3k} x_1^{3j} + v_{1'}^{3k} x_{1'}^{3j} + 4v_2^{3k} x_2^{3j} + v_3^{3k} x_3^{3j} + v_{3'}^{3k} x_{3'}^{3j}) + (w_{1'}^{2k} z_{1'}^{2j} + w_1^{2k} z_1^{2j} + 4w_2^{2k} z_2^{2j} + w_3^{2k} z_3^{2j} + w_{3'}^{2k} z_{3'}^{2j})) + (\sum_{r=5}^6 (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rj} + u_1^{rk} y_1^{rj} + 4u_2^{rk} y_2^{rj} + u_3^{rk} y_3^{rj} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rj})) \leq 0, j = 1, \dots, n,$$

$$u_{3'}^{rk} \geq u_3^{rk} \geq u_2^{rk} \geq u_1^{rk} \geq u_{1'}^{rk} \geq \varepsilon, r = 1, \dots, 6,$$

$$v_{3'}^{ik} \geq v_3^{ik} \geq v_2^{ik} \geq v_1^{ik} \geq v_{1'}^{ik} \geq \varepsilon, i = 1, 2, 3,$$

$$w_{3'}^{fk} \geq w_3^{fk} \geq w_2^{fk} \geq w_1^{fk} \geq w_{1'}^{fk} \geq \varepsilon, f = 1, 2, \varepsilon > 0 \quad (44-3)$$

مدل (44-3) یک مدل برنامه‌ریزی خطی سری- موازی قطعی و شناخته شده به عنوان مدل محیط فازی شهودی است.

در نتیجه کارایی قطعی سیستم و زیر واحدها در شرکت تولیدی سیم و کابل مغان عبارت‌اند از:

$$\begin{aligned} \tilde{E}_k^I &= \sum_{r=1}^4 (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) \div \\ &(\sum_{i=1}^3 (v_{1'}^{ik} x_{1'}^{ik} + v_1^{ik} x_1^{ik} + 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik})) + \sum_{r=5}^6 (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk} + \\ &u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) = 1/8(\sum_{r=1}^4 (u_{1'}^{rk} y_{1'}^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + \\ &4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) \quad (45-3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{E}_k^{I(1)} = & (u_1^{1k} y_1^{1k} + u_1^{1k} y_1^{1k} + 4u_2^{1k} y_2^{1k} + u_3^{1k} y_3^{1k} + u_{3'}^{1k} y_{3'}^{1k}) + (w_1^{1k} z_1^{1j} + \\ & w_1^{1k} z_1^{1j} + 4w_2^{1k} z_2^{1j} + w_3^{1k} z_3^{1j} + w_{3'}^{1k} z_{3'}^{1j}) \div (v_1^{1k} x_1^{1k} + v_1^{1k} x_1^{1k} + 4v_2^{1k} x_2^{1k} + \\ & v_3^{1k} x_3^{1k} + v_{3'}^{1k} x_{3'}^{1k}) \end{aligned} \quad (46-3)$$

$$\begin{aligned} \tilde{E}_k^{I(2)} = & ((u_1^{2k} y_1^{2k} + u_1^{2k} y_1^{1k} + 4u_2^{2k} y_2^{2k} + u_3^{2k} y_3^{2k} + u_{3'}^{2k} y_{3'}^{2k}) + (w_1^{2k} z_1^{2j} + \\ & w_1^{2k} z_1^{2j} + 4w_2^{2k} z_2^{2j} + w_3^{2k} z_3^{2j} + w_{3'}^{2k} z_{3'}^{2j})) \div ((v_1^{2k} x_1^{2k} + v_1^{2k} x_1^{2k} + \\ & 4v_2^{2k} x_2^{2k} + v_3^{2k} x_3^{2k} + v_{3'}^{2k} x_{3'}^{2k}) + (w_1^{1k} z_1^{1j} + w_1^{1k} z_1^{1j} + 4w_2^{1k} z_2^{1j} + w_3^{1k} z_3^{1j} + \\ & w_{3'}^{1k} z_{3'}^{1j})) \end{aligned} \quad (47-3)$$

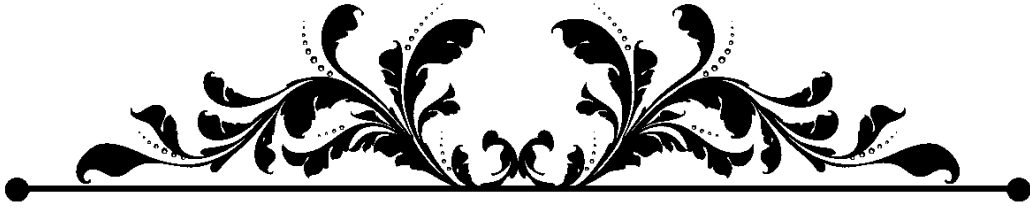
$$\begin{aligned} \tilde{E}_k^{I(3)} = & \sum_{r=3}^4 (u_1^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) \div \\ & ((v_1^{3k} x_1^{3k} + v_1^{3k} x_1^{3k} + 4v_2^{3k} x_2^{3k} + v_3^{3k} x_3^{3k} + v_{3'}^{3k} x_{3'}^{3k}) + (w_1^{2k} z_1^{2j} + w_1^{2k} z_1^{2j} + \\ & 4w_2^{2k} z_2^{2j} + w_3^{2k} z_3^{2j} + w_{3'}^{2k} z_{3'}^{2j})) + \sum_{r=5}^6 (u_1^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + \\ & u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) \end{aligned} \quad (48-3)$$

و وزن های معادل با هر زیر واحد نیز مانند زیر محاسبه خواهند شد:

$$\begin{aligned} \tilde{W}^{I(1)} = & (v_1^{1k} x_1^{1k} + v_1^{1k} x_1^{1k} + 4v_2^{1k} x_2^{1k} + v_3^{1k} x_3^{1k} + v_{3'}^{1k} x_{3'}^{1k}) \div (\sum_{i=1}^3 (v_1^{ik} x_1^{ik} + \\ & v_1^{ik} x_1^{ik} + 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik})) + \sum_{r=5}^6 (u_1^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + \\ & 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) \end{aligned} \quad (49-3)$$

$$\begin{aligned} \tilde{W}^{I(2)} = & ((v_1^{2k} x_1^{2k} + v_1^{2k} x_1^{2k} + 4v_2^{2k} x_2^{2k} + v_3^{2k} x_3^{2k} + v_{3'}^{2k} x_{3'}^{2k}) + (w_1^{1k} z_1^{1j} + \\ & w_1^{1k} z_1^{1j} + 4w_2^{1k} z_2^{1j} + w_3^{1k} z_3^{1j} + w_{3'}^{1k} z_{3'}^{1j})) \div (\sum_{i=2}^3 (v_1^{ik} x_1^{ik} + v_1^{ik} x_1^{ik} + \\ & 4v_2^{ik} x_2^{ik} + v_3^{ik} x_3^{ik} + v_{3'}^{ik} x_{3'}^{ik})) + (w_1^{1k} z_1^{1j} + w_1^{1k} z_1^{1j} + 4w_2^{1k} z_2^{1j} + w_3^{1k} z_3^{1j} + \\ & w_{3'}^{1k} z_{3'}^{1j})) + (u_1^{1k} y_1^{1k} + u_1^{1k} y_1^{1k} + 4u_2^{1k} y_2^{1k} + u_3^{1k} y_3^{1k} + u_{3'}^{1k} y_{3'}^{1k}) + \\ & \sum_{r=5}^6 (u_1^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk})) \end{aligned} \quad (50-3)$$

$$\begin{aligned}
\tilde{w}^{I(3)} = & \left((v_1^{3k} x_1^{3k} + v_1^{3k} x_1^{3k} + 4v_2^{3k} x_2^{3k} + v_3^{3k} x_3^{3k} + v_{3'}^{3k} x_{3'}^{3k}) + (w_{1'}^{2k} z_1^{2j} + \right. \\
& w_1^{2k} z_1^{2j} + 4w_2^{2k} z_2^{2j} + w_3^{2k} z_3^{2j} + w_{3'}^{2k} z_{3'}^{2j}) + \sum_{r=5}^6 (u_{1'}^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + \\
& 4u_2^{rk} y_2^{rk} + u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) \Big) \div \left((v_1^{3k} x_1^{3k} + v_1^{3k} x_1^{3k} + 4v_2^{3k} x_2^{3k} + \right. \\
& v_3^{3k} x_3^{3k} + v_{3'}^{3k} x_{3'}^{3k}) + (w_{1'}^{2k} z_1^{2j} + w_1^{2k} z_1^{2j} + 4w_2^{2k} z_2^{2j} + w_3^{2k} z_3^{2j} + w_{3'}^{2k} z_{3'}^{2j}) + \\
& (u_{1'}^{1k} y_1^{1k} + u_1^{1k} y_1^{1k} + 4u_2^{1k} y_2^{1k} + u_3^{1k} y_3^{1k} + u_{3'}^{1k} y_{3'}^{1k}) + (u_{1'}^{2k} y_1^{2k} + u_1^{2k} y_1^{1k} + \\
& 4u_2^{2k} y_2^{2k} + u_3^{2k} y_3^{2k} + u_{3'}^{2k} y_{3'}^{2k}) + \sum_{r=5}^6 (u_{1'}^{rk} y_1^{rk} + u_1^{rk} y_1^{rk} + 4u_2^{rk} y_2^{rk} + \\
& \left. u_3^{rk} y_3^{rk} + u_{3'}^{rk} y_{3'}^{rk}) \right) \tag{51-3}
\end{aligned}$$



فصل چهارم: تجزیہ و تحلیل دادہ

۴-۱ مقدمه

تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها یکی از فراگیرترین تکنیک‌های سنجش کارایی و ارزیابی عملکرد سازمان‌ها است. مطالعات نشان می‌دهد که مفروضات تمامی تکنیک‌های تحلیل پوششی داده‌های معرفی شده، سنجش گزینه‌های مختلف واحدهای تصمیم‌گیرنده بوده است. از مهم‌ترین عیوب مقایسه یک گزینه با سایر گزینه‌ها در این سنجش، وجود شرایط متفاوت و غیر قابل کنترل در سایر گزینه‌ها می‌باشد. شرایط متفاوت و غیر قابل کنترل در هر گزینه می‌تواند یکی از دلایل کم اعتبار بودن ارزیابی گزینه‌ها نسبت به هم باشد. از آنجا که گزینه‌ها یا واحدهای تصمیم‌گیرنده هر کدام شرایط متفاوت و غیر قابل کنترلی را داشته، مقایسه‌پذیری واحدها نمی‌تواند ضرورتاً ناکارآمدی واحدها را علت‌یابی کند. لذا خودارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده بهترین نوع ارزیابی است که حداکثر ثبات شرایط در آن لحاظ شده است. در این تحقیق با فرضیه ایجاد گزینه‌های مجازی برای هر واحد تصمیم‌گیرنده در طی فرآیند سری زمانی تلاش بر آن است تا ارزیابی کارایی صورت گیرد. از آنجا که ماهیت بعضی از متغیرهای ورودی یا خروجی در شرایط عدم اطمینان صورت می‌پذیرد می‌توان معیارهای کلامی را براساس اطلاعات فازی شهودی مورد ارزیابی قرار داد. مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای فازی شهودی مدل پیشنهادی می‌باشد که در این تحقیق برای خودارزیابی شرکت سیم و کابل مغان به عنوان یک سیستم شبکه‌ای به کار گرفته شده است.

۴-۲ روش تحقیق

پژوهش حاضر با توجه به نوع آن و از نظر روش و چگونگی به دست آوردن داده‌های مورد نیاز، تحقیق توصیفی و از نوع پیمایشی است. تحقیق پیمایشی، توصیفی از نگرش و رفتار جمعیتی براساس انتخاب نمونه تصادفی است. پژوهشگران علوم اجتماعی می‌کوشند تا با استفاده از تحقیقات پیمایشی به تبیین پدیده‌ها پرداخته و صرفاً به توصیف بسنده نکنند. همچنین این تحقیق با توجه به ماهیت موضوع و هدف آن از نوع کاربردی است. در بخش ادبیات پژوهش از روش کتابخانه‌ای استفاده گردیده است و فصل چهارم

مربوط به تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه موردی می‌باشد از آنجا که توسعه مدل براساس روش کمی است داده‌های لازم برای فصل چهارم با نمونه‌برداری در بازه‌های زمانی مختلف (۱۳۹۴-۱۳۹۶) انجام می‌پذیرد. محصول تولید شده در بازه‌های زمانی فصلی (سه ماهه) مورد تحلیل قرار گرفته است. همچنین با توجه به این که پژوهش مبنی بر تحلیل‌های آماری نمی‌باشد، نیازی به تعیین جامعه و نمونه آماری به معنای خاص وجود ندارد.

۳-۴ مطالعه موردی

شرکت تولیدی و صنعتی سیم و کابل مغان در سال ۱۳۶۱ فعالیت خود را در زمینه تولید کابل‌های فشار ضعیف و سیم‌های مخابراتی در شهرستان شاهرود واقع در استان سمنان آغاز کرد. این شرکت با تجربه سی ساله و با بهره‌گیری از تکنولوژی روز دنیا و در اختیار گرفتن مهندسين و مشاورين با تجربه، گامی در توسعه کمی و کیفی محصولات خود برداشته است. بدین منظور با همت مدیران شرکت، واحد جدید شرکت سیم و مغان در زمینی به مساحت ۱۰۲۰۰۰ متر مربع (۳۶۰۰۰ متر مربع مسقف و ۶۶۰۰۰ متر مربع فضای آزاد) در شهرک صنعتی شاهرود احداث شد و با خریداری و تجهیز کارخانه با دستگاه‌های جدید اروپایی ظرفیت تولیدی شرکت به ۱۸۰۰۰ تن مس و ۴۲۰۰۰ کلا در سال افزایش یافت. همچنین با مجهز شدن کارخانه به خطوط تولید کابل‌های فشار قوی امکان تولید کابل تا ولتاژ ۲۳۰ کیلو ولت فراهم گردیده است.

واحد جدید به آزمایشگاه‌هایی برای انجام انواع تست‌های لازم از جمله تست‌های الکترونیکی، مکانیکی، شرایط آتش و ... برای کابل‌های فشار ضعیف و فشار متوسط و فشار قوی جهت حصول اطمینان از مرغوبیت محصول تولیدی، بهبود کیفیت و رضایت کامل مشتری مجهز گردیده است.

۴-۳-۱ مراحل تولید محصول در شرکت مورد مطالعه

مس مورد نیاز کارخانه از کرمان و کاشان تهیه می‌شود. وزن هر پالت مس خریداری شده ۵ تن و قطر رشته‌های مس ۸mm می‌باشد. مس پس از ورود به کارخانه طی مراحل به سیم و کابل با قطرهای متفاوت تبدیل می‌شود.

الف- کشش: دستگاه‌هایی که عملیات کشش را انجام می‌دهند عبارت‌اند از: ROD, SAMP,

BEKEART

۱. دستگاه کشش راد: (کشش سنگین) ورودی این دستگاه پالت‌های مس با قطر ۸ میلی‌متر می‌باشد. در این دستگاه قالب‌هایی تعبیه شده است که باعث می‌شود مس پس از عبور از آنها کشیده شود در واقع این قالب‌ها فشار مس را از بین می‌برند و ساختار مس را که به صورت ملکول‌های دایره‌ای و بیضی می‌باشند می‌شکنند و به صورت ملکول‌های مثلثی مانند تبدیل می‌کنند بعد از این مرحله چون ساختار مس در هم شکسته است مس را آنیل می‌کنند. بدین صورت که مس ابتدا در کوره‌ای گرما می‌بیند سپس وارد لوله بخار فشار قوی می‌شود (برای جلوگیری از اکسید شدن) و برای خنک شدن وارد مخزن آب سرد می‌شود و بعد از آن وارد لوله باد می‌شود تا خشک گردد. خروجی دستگاه دارای قطرهای متفاوتی است که بزرگ‌ترین قطر مس ۳/۵۱ و کوچک‌ترین آن ۱/۳۶ می‌باشد. با توجه به قطر مس تولیدی، خروجی دستگاه روی قرقره با بسکت پیچیده می‌شود.

۲. دستگاه کشش میانی SAMP: (کشش میانی) این دستگاه از دستگاه ROD پیشرفته‌تر است. به این

دستگاه Moulti bayer یا چند سیمه می‌گویند. چون می‌تواند ۸ رشته مس را به طور همزمان کشش دهد (خروجی به صورت ۸ رشته‌ای می‌باشد). ورودی این دستگاه ۸ بسکت است که کوچک‌ترین قطر مس بسکت‌ها ۱/۳۸ و بزرگ‌ترین آن ۲/۲۴ می‌باشد. مراحل کشش مانند کشش سنگین می‌باشد. کوچک‌ترین قطر هر رشته مس خروجی ۰/۲۸۰ است. جنس قالب‌های این دستگاه از الماس طبیعی است که بسیار

گران قیمت است. بالاترین سرعت دستگاه ۳۵ متر بر ثانیه است که معمولاً به علت پارگی بیش از اندازه مس از سرعت‌های پایین‌تر استفاده می‌کنند.

۳. دستگاه کشش میانی Bekeart: (کشش سبک) این دستگاه نیز یکی از دستگاه‌های کشش می‌باشد مراحل تولید شبیه کشش میانی است. خروجی دستگاه ۴ تا ۸ بسکت ۱/۳۸ است و قطر خروجی آن ۰/۲۳۲ می‌باشد.

ب- بانچ: عملیاتی که طی آن رشته‌های مس به هم تابیده می‌شوند. دستگاه‌هایی که عملیات بانچ را انجام می‌دهند بانچر نام دارند بانچر دستگاهی است که رشته‌های مس را به هم می‌تاباند. این دستگاه در تعداد رشته‌ها و قطر خروجی مس تابیده شده محدودیت دارد. از این رو برای تاباندن رشته‌های زیاد مس از دستگاه تاب استفاده می‌شود. با دو هدف از دستگاه تاب استفاده می‌شود: ۱- تاباندن رشته‌های مس به یکدیگر، هر جا که محدودیت بانچرها مانعی در راه تولید ایجاد کند. ۲- تاباندن سیم‌های روکش شده با هم که دستگاه‌های بانچر توانایی این کار را ندارند. در ادامه در مورد این دستگاه‌ها بیشتر توضیح داده خواهد شد.

خروجی دستگاه‌های Samp, Bekeart ورودی بانچرها می‌باشند. سطح مقطع خروجی بانچرها ۱/۵ (۴) قرقره ۸ رشته ۰/۲۳۲، ۲/۵ (۵۳) تا رشته ۰/۲۳۲، ۴ (۵۶) رشته ۰/۲۸۰، ۶ (۸۵) تا رشته ۰/۲۸۰ میلی‌متر می‌باشند.

ج- تاب: در این مرحله سیم‌های مس به هم تابیده می‌شوند. دستگاه‌های تاب، دستگاه‌هایی هستند که سیم‌ها را به هم می‌تابانند. این دستگاه‌ها در تعداد رشته و قطر سیم‌های ورودی تفاوت دارند. خروجی بانچرها بعد از روکش وارد این مرحله می‌شوند که شامل دستگاه‌های زیر می‌باشند.

۱. استرندر: گاهی اوقات لازم است از سیم‌های تولید شده کابل تهیه شود. بدین منظور سیم‌ها را در همان مرحله اکسترودر بر روی قرقره پر می‌کنند و سپس این قرقره را به وسیله دستگاه استرندر به هم می‌-

تابانند و بر روی یک قرقره دیگر پر می‌کنند؛ و سپس این قرقره را در دستگاه اکسترودر روکش می‌کنند. نحوه تابیدن سیم‌های تولیدی اگرچه در استاندارد منبعی ندارد ولی باید یک طول تاب ثابت و مقرون به صرفه و اقتصادی را به بکار ببریم و یا به بیان دیگر استاندارد کارخانه‌ای برای این قسمت ایجاد کنیم.

۲. Single twist: قطر خروجی‌های این دستگاه mm ۱۰/۱۶ است.

۳. Double twist: قطر خروجی‌های این دستگاه ۱۶، ۳۵، ۲۵ است.

۴. Caibler: دستگاهی است که برای تاباندن چند رشته سیم به هم کاربرد دارد. خروجی‌های strander با این دستگاه به هم تابیده می‌شوند.

۵- روکش: در این مرحله رشته‌های مس روکش می‌شوند. دستگاه‌هایی که این عملیات را انجام می‌دهند اکسترودر نام دارند. با توجه به طرح‌های کیفیت محصول (ترکیب ماده اولیه، رنگ روکش و شرایط خاص تولید مثل پیچیدن نوار نایلونی قبل از روکش) دستگاه‌ها یا اکسترودرها تطبیق داده می‌شوند. عمل چاپ مشخصات بر روی سیم نیز توسط پرینترهای مخصوص در این مرحله صورت می‌پذیرد. از اکسترودرها به دو منظور استفاده می‌شود: ۱- روکش کردن سیم‌های مسی ۲- ایجاد غلاف به دور چند سیم و تولید سیم‌های چند رشته

انواع اکسترودرها:

E80: خروجی بانچرها با این دستگاه عایق می‌شوند.

E100: خروجی دستگاه‌های double, single, strander با این دستگاه عایق و روکش می‌شوند.

E160: خروجی‌های caibler با این دستگاه عایق و روکش می‌شوند.

دستگاه S-Z: این دستگاه ابتدا دو سیم عایق شده دستگاه‌های اکسترودر ۸۰-۹۰ را به یکدیگر تاب داده و سپس کابل را عایق می‌کند و عملیات مارک‌زنی را انجام می‌دهد.

نکته قابل توجه این است که برای تولید بعضی از محصولات خروجی بانچرها پس از عایق شدن و روکش با دستگاه تاب تابیده می‌شوند؛ و بعد از آن دوباره روکش می‌شوند.

۵- **بسته‌بندی:** در این قسمت دستگاه‌هایی برای بستن کابل بر روی قرقره‌های چوبی (ریواند) و همچنین دستگاه‌هایی که می‌توان توسط آنها سیم‌ها را به صورت کلاف‌هایی با طول مشخص در آورد، وجود دارد.

۴-۳-۲ معرفی محصول

با توجه به تنوع محصولات کارخانه، از اطلاعات محصول "۶*۲ مفتول" استفاده شده است؛ که از تولیدات روتین کارخانه و دارای عملیات مناسب برای مدل‌سازی می‌باشد. همچنین به دلیل نیاز مدل به داده‌های زمانی، اطلاعات ۴ دوره سه ماهه سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و همچنین ۲ دوره سه ماهه اول سال ۱۳۹۶ این محصول استخراج گردید.

برای تولید این کابل چهار مرحله تولیدی کشش، روکش اولیه و تاب و روکش نهایی طی می‌گردد. معمولاً برنامه‌ریزی تولید این محصول به نحوی صورت می‌گیرد که دو مرحله آخر یعنی تاب و روکش نهایی توسط یک دستگاه (دستگاه Z-S) انجام پذیرد.

۴-۴ مدل شبکه‌ای برای شرکت تولیدی سیم و کابل مغان در محیط فازی شهودی

یکی از مشکلات اساسی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها عدم اطمینان در مقادیر ورودی و خروجی است. از ویژگی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها این است که اندازه‌گیری کارایی به تغییرات داده حساس است. با این حال، در دنیای واقعی، مواردی وجود دارد که اندازه‌گیری دقیق مشاهدات دشوار است، مشاهدات گم شده‌اند و باید برآورد شوند یا داده‌ها باید پیش‌بینی شوند. این به ویژه برای سیستم‌های تولید شبکه‌ای بسیار حایز اهمیت است زیرا داده‌ها از تولیدات میانی تشکیل شده‌اند. مواردی وجود دارد که داده‌ها کیفی بوده و مقادیر مورد استفاده برای نمایش چنین داده‌هایی مبهم هستند. اگر به منظور حل این نوع از

مسائل، مقادیر قطعی فرض می‌شوند که در واقع نشان‌دهنده داده‌های مبهم هستند تصمیم‌گیرنده ممکن است به نتایج غیر دقیق اعتماد کرده، و در نتیجه تصمیمات نامناسبی اتخاذ شود (کائو، ۲۰۰۹).

۴-۴-۱ مدل‌سازی خط تولید شرکت سیم و کابل مغان

در مطالعه حاضر بعد از ارائه مدل پیشنهادی جهت اطمینان از اثربخشی مدل، مدل خودارزیابی تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در یک مطالعه موردی بکار گرفته شده و تجزیه و تحلیل می‌شود. با توجه به مسئله تحقیق، شرکت سیم و کابل مغان که یکی از پیشرفته‌ترین تولیدکنندگان داخلی سیم و کابل است؛ به عنوان مورد مطالعه انتخاب شد. این شرکت شرایط مورد نیاز تحقیق از لحاظ سیستم شبکه‌ای را دارا است و اجرای مدل روی محصولات این کارخانه امکان‌پذیر است. با توجه به تنوع محصولات کارخانه، از اطلاعات محصول "۶*۲ مفتول" که از تولیدات متداول کارخانه و دارای عملیات مناسب برای مدل‌سازی است، استفاده شده است. همچنین به دلیل نیاز مدل به داده‌های زمانی، اطلاعات ۴ دوره سه ماهه سال-های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و همچنین ۲ دوره سه ماهه سال ۱۳۹۶ این محصول استخراج گردید. که در جدول (۴.۱) نشان داده شده است. اطلاعات قطعی از دفاتر شرکت استخراج گردیده است؛ و برای به دست آوردن اطلاعات فازی شهودی خروجی برند و جایگاه از نظرات خبرگان بخش بازاریابی استفاده گردید.

در این بخش با به کارگیری مدل پیشنهادی، نتایج خروجی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا باید مدل برنامه‌ریزی ریاضی این خط تولید را فرموله کرد:

۱۰ واحد تصمیم‌گیرنده (۱۰ برش زمانی از یک واحد تصمیم‌گیرنده $j = 1, 2, \dots, 10$)، هر کدام متشکل از سه بخش ($p = 1, 2, 3$) موجود می‌باشد. این خط تولید دارای ۳ ورودی مطلوب است و ورودی نامطلوب ندارد. همچنین ۶ خروجی دارد که ۲ مورد از خروجی‌های بخش ۳ نامطلوب (هدف کاهش آنها را داریم) می‌باشند. با چنین خروجی‌هایی مشابه ورودی رفتار می‌شود. در بخش زیر مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در محیط فازی شهودی برای برش زمانی اول (دوره ۱- بهار ۱۳۹۴) فرموله شده است.

جدول (۴-۱): داده‌های ورودی و خروجی قطعی و فازی شهودی سیستم تولیدی سیم و کابل مغان

بخش سوم				بخش دوم			بخش اول			بخش‌ها	
Y_6	Y_5	Y_4	Y_3	X_3	Z_2	Y_2	X_2	Z_1	Y_1	X_1	دوره زمانی
-/۴۹۷	-/۸۴۵	(۶.۷.۱۱:۵.۷.۱۴)	۵۱۵	-/۲	-/۳	-/۰.۰۷	۵	-/۰.۴	-/۱.۰	۸	دوره ۱- بهار ۱۳۹۴
-/۵۹۵	۱	(۱۷.۲۰.۲۲: ۱۴.۲۰.۲۵)	۵۱۰	-/۳	-/۱	-/۰.۰۶	۴	-/۰.۶	-/۰.۷	۹	دوره ۲- تابستان ۱۳۹۴
-/۶۳۱	-/۵۵۴	(۳۲.۳۷.۳۸: ۳۰.۳۷.۴۰)	۵۰۰	-/۲	-/۲	-/۰.۰۵	۴	-/۰.۳	-/۱.۴	۷	دوره ۳- پاییز ۱۳۹۴
-/۵۲۱	-/۴۵۶	(۱۸.۱۹.۲۲: ۱۶.۱۹.۲۴)	۵۰۵	-/۴	-/۵	-/۰.۰۵	۳	-/۰.۶	-/۰.۸	۶	دوره ۴- زمستان ۱۳۹۴
-/۴۵۶	۱	(۱۳.۱۸.۲۰: ۱۱.۱۸.۲۴)	۵۱۵	-/۳	-/۴	-/۰.۰۶	۲	-/۰.۳	-/۱.۱	۸	دوره ۵- بهار ۱۳۹۵
-/۵۵۴	-/۷۲۵	(۲۲.۲۵.۳۲: ۱۸.۲۵.۳۸)	۵۰۵	-/۴	-/۲	-/۰.۰۹	۳	-/۰.۶	-/۱.۳	۱۰	دوره ۶- تابستان ۱۳۹۵
-/۵۶۱	-/۸۵۱	(۱۵.۳۷.۳۷: ۱۱.۳۷.۵۰)	۵۱۰	-/۳	-/۲	-/۰.۰۸	۴	-/۰.۴	-/۰.۹	۱۱	دوره ۷- پاییز ۱۳۹۵
-/۲۲۵	-/۸۷۵	(۳۴.۴۰.۴۳: ۳۲.۴۰.۴۷)	۵۱۵	-/۲	-/۱	-/۰.۰۷	۳	-/۰.۵	-/۱.۰	۱۱	دوره ۸- زمستان ۱۳۹۵
-/۵۰۵	-/۵۹۷	(۱۵.۲۰.۲۸: ۱۲.۲۰.۳۲)	۵۱۰	-/۱	-/۴	-/۰.۰۸	۴	-/۰.۱	-/۱.۲	۱۲	دوره ۹- بهار ۱۳۹۶
-/۵۲۱	-/۷۵۶	(۱۲.۱۵.۱۸: ۹.۱۵.۲۰)	۵۰۰	-/۳	-/۱	-/۰.۰۶	۴	-/۰.۲	-/۱.۳	۱۰	دوره ۱۰- تابستان ۱۳۹۶

$$\max = 1/8 \left((0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.007u_1^{21} + 0.007u_1^{21} + 4 \times 0.007u_2^{21} + 0.007u_3^{21} + 0.007u_3^{21}) + (515u_1^{31} + 515u_1^{31} + 4 \times 515u_2^{31} + 515u_3^{31} + 515u_3^{31}) + (5u_1^{41} + 6u_1^{41} + 4 \times 7u_2^{41} + 11u_3^{41} + 14u_3^{41}) \right),$$

$$(8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + 8v_3^{11}) + (5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61}) = 8,$$

$$(0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + 4 \times 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) - (8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + 8v_3^{11}) \leq 0,$$

$$(0.07u_1^{11} + 0.07u_1^{11} + 4 \times 0.07u_2^{11} + 0.07u_3^{11} + 0.07u_3^{11}) + (0.06w_1^{11} + 0.06w_1^{11} + 4 \times 0.06w_2^{11} + 0.06w_3^{11} + 0.06w_3^{11}) - (9v_1^{11} + 9v_1^{11} + 4 \times 9v_2^{11} + 9v_3^{11} + 9v_3^{11}) \leq 0,$$

$$(0.14u_1^{11} + 0.14u_1^{11} + 4 \times 0.14u_2^{11} + 0.14u_3^{11} + 0.14u_3^{11}) + (0.03w_1^{11} + 0.03w_1^{11} + 4 \times 0.03w_2^{11} + 0.03w_3^{11} + 0.03w_3^{11}) - (7 + 7v_1^{11} + 4 \times 7v_2^{11} + 7v_3^{11} + 7v_3^{11}) \leq 0,$$

$$(0.08u_1^{11} + 0.08u_1^{11} + 4 \times 0.08u_2^{11} + 0.08u_3^{11} + 0.08u_3^{11}) + (0.06w_1^{11} + 0.06w_1^{11} + 4 \times 0.06w_2^{11} + 0.06w_3^{11} + 0.06w_3^{11}) - (6v_1^{11} + 6v_1^{11} + 4 \times 6v_2^{11} + 6v_3^{11} + 6v_3^{11}) \leq 0,$$

$$\begin{aligned}
& (0.11u_1^{11} + 0.11u_1^{11} + 4 \times 0.11u_2^{11} + 0.11u_3^{11} + 0.11u_3^{11}) + (0.03w_1^{11} + 0.03w_1^{11} + 4 \times \\
& 0.03w_2^{11} + 0.03w_3^{11} + 0.03w_3^{11}) - (8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + 8v_3^{11}) \leq 0, \\
& (0.13u_1^{11} + 0.13u_1^{11} + 4 \times 0.13u_2^{11} + 0.13u_3^{11} + 0.13u_3^{11}) + (0.06w_1^{11} + 0.06w_1^{11} + 4 \times \\
& 0.06w_2^{11} + 0.06w_3^{11} + 0.06w_3^{11}) - (10v_1^{11} + 10v_1^{11} + 4 \times 10v_2^{11} + 10v_3^{11} + 10v_3^{11}) \leq 0, \\
& (0.09u_1^{11} + 0.09u_1^{11} + 4 \times 0.09u_2^{11} + 0.09u_3^{11} + 0.09u_3^{11}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + 4 \times \\
& 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) - (11v_1^{11} + 11v_1^{11} + 4 \times 11v_2^{11} + 11v_3^{11} + 11v_3^{11}) \leq 0, \\
& (0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.05w_1^{11} + 0.05w_1^{11} + 4 \times \\
& 0.05w_2^{11} + 0.05w_3^{11} + 0.05w_3^{11}) - (11v_1^{11} + 11v_1^{11} + 4 \times 11v_2^{11} + 11v_3^{11} + 11v_3^{11}) \leq 0, \\
& (0.12u_1^{11} + 0.12u_1^{11} + 4 \times 0.12u_2^{11} + 0.12u_3^{11} + 0.12u_3^{11}) + (0.01w_1^{11} + 0.01w_1^{11} + 4 \times \\
& 0.01w_2^{11} + 0.01w_3^{11} + 0.01w_3^{11}) - (12v_1^{11} + 12v_1^{11} + 4 \times 12v_2^{11} + 12v_3^{11} + 12v_3^{11}) \leq 0, \\
& (0.13u_1^{11} + 0.13u_1^{11} + 4 \times 0.13u_2^{11} + 0.13u_3^{11} + 0.13u_3^{11}) + (0.02w_1^{11} + 0.02w_1^{11} + 4 \times \\
& 0.02w_2^{11} + 0.02w_3^{11} + 0.02w_3^{11}) - (10v_1^{11} + 10v_1^{11} + 4 \times 10v_2^{11} + 10v_3^{11} + 10v_3^{11}) \leq 0, \\
& (0.007u_1^{21} + 0.007u_1^{21} + 4 \times 0.007u_2^{21} + 0.007u_3^{21} + 0.007u_3^{21}) + (0.3w_1^{21} + 0.3w_1^{21} + 4 \times \\
& 0.3w_2^{21} + 0.3w_3^{21} + 0.3w_3^{21}) - \left((5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.04w_1^{11} + \right. \\
& \left. 0.04w_1^{11} + 4 \times 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) \right) \leq 0, \\
& (0.006u_1^{21} + 0.006u_1^{21} + 4 \times 0.006u_2^{21} + 0.006u_3^{21} + 0.006u_3^{21}) + (0.1w_1^{21} + 0.1w_1^{21} + 4 \times \\
& 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) - \left((4v_1^{21} + 4v_1^{21} + 4 \times 4v_2^{21} + 4v_3^{21} + 4v_3^{21}) + (0.06w_1^{11} + \right. \\
& \left. 0.06w_1^{11} + 4 \times 0.06w_2^{11} + 0.06w_3^{11} + 0.06w_3^{11}) \right) \leq 0, \\
& (0.005u_1^{21} + 0.005u_1^{21} + 4 \times 0.005u_2^{21} + 0.005u_3^{21} + 0.005u_3^{21}) + (0.2w_1^{21} + 0.2w_1^{21} + 4 \times \\
& 0.2w_2^{21} + 0.2w_3^{21} + 0.2w_3^{21}) - \left((4v_1^{21} + 4v_1^{21} + 4 \times 4v_2^{21} + 4v_3^{21} + 4v_3^{21}) + (0.03w_1^{11} + \right. \\
& \left. 0.03w_1^{11} + 4 \times 0.03w_2^{11} + 0.03w_3^{11} + 0.03w_3^{11}) \right) \leq 0, \\
& (0.005u_1^{21} + 0.005u_1^{21} + 4 \times 0.005u_2^{21} + 0.005u_3^{21} + 0.005u_3^{21}) + (0.5w_1^{21} + 0.5w_1^{21} + 4 \times \\
& 0.5w_2^{21} + 0.5w_3^{21} + 0.5w_3^{21}) - \left((3v_1^{21} + 3v_1^{21} + 4 \times 3v_2^{21} + 3v_3^{21} + 3v_3^{21}) + (0.06w_1^{11} + \right. \\
& \left. 0.06w_1^{11} + 4 \times 0.06w_2^{11} + 0.06w_3^{11} + 0.06w_3^{11}) \right) \leq 0,
\end{aligned}$$

$$(0.006u_1^{21} + 0.006u_1^{21} + 4 \times 0.006u_2^{21} + 0.006u_3^{21} + 0.006u_3^{21}) + (0.4w_1^{21} + 0.4w_1^{21} + 4 \times 0.4w_2^{21} + 0.4w_3^{21} + 0.4w_3^{21}) - \left((2v_1^{21} + 2v_1^{21} + 4 \times 2v_2^{21} + 2v_3^{21} + 2v_3^{21}) + (0.03w_1^{11} + 0.03w_1^{11} + 4 \times 0.03w_2^{11} + 0.03w_3^{11} + 0.03w_3^{11}) \right) \leq 0,$$

$$(0.009u_1^{21} + 0.009u_1^{21} + 4 \times 0.009u_2^{21} + 0.009u_3^{21} + 0.009u_3^{21}) + (0.2w_1^{21} + 0.2w_1^{21} + 4 \times 0.2w_2^{21} + 0.2w_3^{21} + 0.2w_3^{21}) - \left((3v_1^{21} + 3v_1^{21} + 4 \times 3v_2^{21} + 3v_3^{21} + 3v_3^{21}) + (0.06w_1^{11} + 0.06w_1^{11} + 4 \times 0.06w_2^{11} + 0.06w_3^{11} + 0.06w_3^{11}) \right) \leq 0,$$

$$(0.008u_1^{21} + 0.008u_1^{21} + 4 \times 0.008u_2^{21} + 0.008u_3^{21} + 0.008u_3^{21}) + (0.2w_1^{21} + 0.2w_1^{21} + 4 \times 0.2w_2^{21} + 0.2w_3^{21} + 0.2w_3^{21}) - \left((4v_1^{21} + 4v_1^{21} + 4 \times 4v_2^{21} + 4v_3^{21} + 4v_3^{21}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + 4 \times 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) \right) \leq 0,$$

$$(0.007u_1^{21} + 0.007u_1^{21} + 4 \times 0.007u_2^{21} + 0.007u_3^{21} + 0.007u_3^{21}) + (0.1w_1^{21} + 0.1w_1^{21} + 4 \times 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) - \left((3v_1^{21} + 3v_1^{21} + 4 \times 3v_2^{21} + 3v_3^{21} + 3v_3^{21}) + (0.05w_1^{11} + 0.05w_1^{11} + 4 \times 0.05w_2^{11} + 0.05w_3^{11} + 0.05w_3^{11}) \right) \leq 0,$$

$$(0.008u_1^{21} + 0.008u_1^{21} + 4 \times 0.008u_2^{21} + 0.008u_3^{21} + 0.008u_3^{21}) + (0.4w_1^{21} + 0.4w_1^{21} + 4 \times 0.4w_2^{21} + 0.4w_3^{21} + 0.4w_3^{21}) - \left((4v_1^{21} + 4v_1^{21} + 4 \times 4v_2^{21} + 4v_3^{21} + 4v_3^{21}) + (0.01w_1^{11} + 0.01w_1^{11} + 4 \times 0.01w_2^{11} + 0.01w_3^{11} + 0.01w_3^{11}) \right) \leq 0,$$

$$(0.006u_1^{21} + 0.006u_1^{21} + 4 \times 0.006u_2^{21} + 0.006u_3^{21} + 0.006u_3^{21}) + (0.1w_1^{21} + 0.1w_1^{21} + 4 \times 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) - \left((4v_1^{21} + 4v_1^{21} + 4 \times 4v_2^{21} + 4v_3^{21} + 4v_3^{21}) + (0.02w_1^{11} + 0.02w_1^{11} + 4 \times 0.02w_2^{11} + 0.02w_3^{11} + 0.02w_3^{11}) \right) \leq 0,$$

$$(515u_1^{31} + 515u_1^{31} + 4 \times 515u_2^{31} + 515u_3^{31} + 515u_3^{31}) + (5u_1^{41} + 6u_1^{41} + 4 \times 7u_2^{41} + 11u_3^{41} + 14u_3^{41}) - \left((0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.3w_1^{21} + 0.3w_1^{21} + 4 \times 0.3w_2^{21} + 0.3w_3^{21} + 0.3w_3^{21}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61}) \right) \leq 0,$$

$$(510u_1^{31} + 510u_1^{31} + 4 \times 510u_2^{31} + 510u_3^{31} + 510u_3^{31}) + (14u_1^{41} + 17u_1^{41} + 4 \times 20u_2^{41} + 22u_3^{41} + 25u_3^{41}) - \left((0.3v_1^{31} + 0.3v_1^{31} + 4 \times 0.3v_2^{31} + 0.3v_3^{31} + 0.3v_3^{31}) + (0.1w_1^{21} + 0.1w_1^{21} + 4 \times 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) \right) \leq 0,$$

$$\begin{aligned}
& 4 \times 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) + (1.0u_1^{51} + 1.0u_1^{51} + 4 \times 1.0u_2^{51} + 1.0u_3^{51} + 1.0u_3^{51}) + \\
& (0.595u_1^{61} + 0.595u_1^{61} + 4 \times 0.595u_2^{61} + 0.595u_3^{61} + 0.595u_3^{61}) \leq 0, \\
& (500u_1^{31} + 500u_1^{31} + 4 \times 500u_2^{31} + 500u_3^{31} + 500u_3^{31}) + (30u_1^{41} + 33u_1^{41} + 4 \times 37u_2^{41} + \\
& 38u_3^{41} + 40u_3^{41}) - ((0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.2w_1^{21} + 0.2w_1^{21} + \\
& 4 \times 0.2w_2^{21} + 0.2w_3^{21} + 0.2w_3^{21}) + (0.554u_1^{51} + 0.554u_1^{51} + 4 \times 0.554u_2^{51} + 0.554u_3^{51} + \\
& 0.554u_3^{51}) + (0.631u_1^{61} + 0.631u_1^{61} + 4 \times 0.631u_2^{61} + 0.631u_3^{61} + 0.631u_3^{61})) \leq 0, \\
& (505u_1^{31} + 505u_1^{31} + 4 \times 505u_2^{31} + 505u_3^{31} + 505u_3^{31}) + (16u_1^{41} + 18u_1^{41} + 4 \times 19u_2^{41} + \\
& 22u_3^{41} + 24u_3^{41}) - ((0.4v_1^{31} + 0.4v_1^{31} + 4 \times 0.4v_2^{31} + 0.4v_3^{31} + 0.4v_3^{31}) + (0.5w_1^{21} + 0.5w_1^{21} + \\
& 4 \times 0.5w_2^{21} + 0.5w_3^{21} + 0.5w_3^{21}) + (0.456u_1^{51} + 0.456u_1^{51} + 4 \times 0.456u_2^{51} + 0.456u_3^{51} + \\
& 0.456u_3^{51}) + (0.521u_1^{61} + 0.521u_1^{61} + 4 \times 0.521u_2^{61} + 0.521u_3^{61} + 0.521u_3^{61})) \leq 0, \\
& (515u_1^{31} + 515u_1^{31} + 4 \times 515u_2^{31} + 515u_3^{31} + 515u_3^{31}) + (11u_1^{41} + 13u_1^{41} + 4 \times 18u_2^{41} + \\
& 20u_3^{41} + 24u_3^{41}) - ((0.3v_1^{31} + 0.3v_1^{31} + 4 \times 0.3v_2^{31} + 0.3v_3^{31} + 0.3v_3^{31}) + (0.4w_1^{21} + 0.4w_1^{21} + \\
& 4 \times 0.4w_2^{21} + 0.4w_3^{21} + 0.4w_3^{21}) + (1.0u_1^{51} + 1.0u_1^{51} + 4 \times 1.0u_2^{51} + 1.0u_3^{51} + 1.0u_3^{51}) + \\
& (0.456u_1^{61} + 0.456u_1^{61} + 4 \times 0.456u_2^{61} + 0.456u_3^{61} + 0.456u_3^{61})) \leq 0, \\
& (505u_1^{31} + 505u_1^{31} + 4 \times 505u_2^{31} + 505u_3^{31} + 505u_3^{31}) + (18u_1^{41} + 22u_1^{41} + 4 \times 25u_2^{41} + \\
& 32u_3^{41} + 38u_3^{41}) - ((0.4v_1^{31} + 0.4v_1^{31} + 4 \times 0.4v_2^{31} + 0.4v_3^{31} + 0.4v_3^{31}) + (0.2w_1^{21} + 0.2w_1^{21} + \\
& 4 \times 0.2w_2^{21} + 0.2w_3^{21} + 0.2w_3^{21}) + (0.725u_1^{51} + 0.725u_1^{51} + 4 \times 0.725u_2^{51} + 0.725u_3^{51} + \\
& 0.725u_3^{51}) + (0.554u_1^{61} + 0.554u_1^{61} + 4 \times 0.554u_2^{61} + 0.554u_3^{61} + 0.554u_3^{61})) \leq 0, \\
& (510u_1^{31} + 510u_1^{31} + 4 \times 510u_2^{31} + 510u_3^{31} + 510u_3^{31}) + (11u_1^{41} + 15u_1^{41} + 4 \times 37u_2^{41} + \\
& 47u_3^{41} + 50u_3^{41}) - ((0.3v_1^{31} + 0.3v_1^{31} + 4 \times 0.3v_2^{31} + 0.3v_3^{31} + 0.3v_3^{31}) + (0.2w_1^{21} + 0.2w_1^{21} + \\
& 4 \times 0.2w_2^{21} + 0.2w_3^{21} + 0.2w_3^{21}) + (0.851u_1^{51} + 0.851u_1^{51} + 4 \times 0.851u_2^{51} + 0.851u_3^{51} + \\
& 0.851u_3^{51}) + (0.561u_1^{61} + 0.561u_1^{61} + 4 \times 0.561u_2^{61} + 0.561u_3^{61} + 0.561u_3^{61})) \leq 0, \\
& (515u_1^{31} + 515u_1^{31} + 4 \times 515u_2^{31} + 515u_3^{31} + 515u_3^{31}) + (32u_1^{41} + 34u_1^{41} + 4 \times 40u_2^{41} + \\
& 43u_3^{41} + 47u_3^{41}) - ((0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.1w_1^{21} + 0.1w_1^{21} + \\
& 4 \times 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) + (0.875u_1^{51} + 0.875u_1^{51} + 4 \times 0.875u_2^{51} + 0.875u_3^{51} + \\
& 0.875u_3^{51}) + (0.225u_1^{61} + 0.225u_1^{61} + 4 \times 0.225u_2^{61} + 0.225u_3^{61} + 0.225u_3^{61})) \leq 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (510u_1^{31} + 510u_1^{31} + 4 \times 510u_2^{31} + 510u_3^{31} + 510u_3^{31}) + (12u_1^{41} + 15u_1^{41} + 4 \times 20u_2^{41} + \\
& 28u_3^{41} + 32u_3^{41}) - \left((0.1 + 0.1v_1^{31} + 4 \times 0.1v_2^{31} + 0.1v_3^{31} + 0.1v_3^{31}) + (0.4w_1^{21} + 0.4w_1^{21} + 4 \times \right. \\
& 0.4w_2^{21} + 0.4w_3^{21} + 0.4w_3^{21}) + (0.597u_1^{51} + 0.597u_1^{51} + 4 \times 0.597u_2^{51} + 0.597u_3^{51} + \\
& 0.597u_3^{51}) + (0.505u_1^{61} + 0.505u_1^{61} + 4 \times 0.505u_2^{61} + 0.505u_3^{61} + 0.505u_3^{61}) \leq 0, \\
& (500u_1^{31} + 500u_1^{31} + 4 \times 500u_2^{31} + 500u_3^{31} + 500u_3^{31}) + (9u_1^{41} + 12u_1^{41} + 4 \times 15u_2^{41} + \\
& 18u_3^{41} + 20u_3^{41}) - \left((0.3v_1^{31} + 0.3v_1^{31} + 4 \times 0.3v_2^{31} + 0.3v_3^{31} + 0.3v_3^{31}) + (0.1w_1^{21} + 0.1w_1^{21} + \right. \\
& 4 \times 0.1w_2^{21} + 0.1w_3^{21} + 0.1w_3^{21}) + (0.756u_1^{51} + 0.756u_1^{51} + 4 \times 0.756u_2^{51} + 0.756u_3^{51} + \\
& 0.756u_3^{51}) + (0.521u_1^{61} + 0.521u_1^{61} + 4 \times 0.521u_2^{61} + 0.521u_3^{61} + 0.521u_3^{61}) \leq 0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& u_1^{11} \geq 0.0001, u_1^{11} \geq 0.0001, u_2^{11} \geq 0.0001, u_3^{11} \geq 0.0001, u_3^{11} \geq 0.0001, \\
& u_1^{21} \geq 0.0001, u_1^{21} \geq 0.0001, u_2^{21} \geq 0.0001, u_3^{21} \geq 0.0001, u_3^{21} \geq 0.0001, \\
& u_1^{31} \geq 0.0001, u_1^{31} \geq 0.0001, u_2^{31} \geq 0.0001, u_3^{31} \geq 0.0001, u_3^{31} \geq 0.0001, \\
& u_1^{41} \geq 0.0001, u_1^{41} \geq 0.0001, u_2^{41} \geq 0.0001, u_3^{41} \geq 0.0001, u_3^{41} \geq 0.0001,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& v_1^{11} \geq 0.0001, v_1^{11} \geq 0.0001, v_2^{11} \geq 0.0001, v_3^{11} \geq 0.0001, v_3^{11} \geq 0.0001, \\
& v_1^{21} \geq 0.0001, v_1^{21} \geq 0.0001, v_2^{21} \geq 0.0001, v_3^{21} \geq 0.0001, v_3^{21} \geq 0.0001, \\
& v_1^{31} \geq 0.0001, v_1^{31} \geq 0.0001, v_2^{31} \geq 0.0001, v_3^{31} \geq 0.0001, v_3^{31} \geq 0.0001,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& u_1^{51} \geq 0.0001, u_1^{51} \geq 0.0001, u_2^{51} \geq 0.0001, u_3^{51} \geq 0.0001, u_3^{51} \geq 0.0001, \\
& u_1^{61} \geq 0.0001, u_1^{61} \geq 0.0001, u_2^{61} \geq 0.0001, u_3^{61} \geq 0.0001, u_3^{61} \geq 0.0001,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& w_1^{11} \geq 0.0001, w_1^{11} \geq 0.0001, w_2^{11} \geq 0.0001, w_3^{11} \geq 0.0001, w_3^{11} \geq 0.0001, \\
& w_1^{21} \geq 0.0001, w_1^{21} \geq 0.0001, w_2^{21} \geq 0.0001, w_3^{21} \geq 0.0001, w_3^{21} \geq 0.0001,
\end{aligned}$$

وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها و خروجی‌های فازی شهودی با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی

LINGO به دست آمده و در جداول (۴-۲) تا (۴-۵) نشان داده شده‌اند.

جدول (۴-۲): وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها، خروجی‌ها و تولیدات میانی بخش اول

بخش اول			بخش
w_1	u_1	v_1	دوره زمانی
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۱
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۲
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03912857)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۳
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۴
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۵
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۶
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۷
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۸
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۹
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.03663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0313)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۱۰

جدول (۴-۳): وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها، خروجی‌ها و تولیدات میانی بخش دوم

بخش دوم			بخش‌ها
w_2	u_2	v_2	دوره زمانی
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3993)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۱
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3993)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۲
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.21663333)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۳
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.006088)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۴
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,1234.247)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,3.701644)	دوره ۵
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,828.8316)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,2.485397)	دوره ۶
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3993)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۷
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3993)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۸
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3993)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۹
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3993)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۱۰

جدول (۴-۴): وزن‌های فازی شهودی برای ورودی‌ها و خروجی‌های بخش سوم

بخش سوم			بخش
u_4	u_3	v_3	دوره زمانی
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.01195222)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,2.051756)	دوره ۱
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.009794642)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,1.704106)	دوره ۲
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.1891615)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۳
(0.0001,0.002480229,0.0001; 0.0001,0.002480229,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.01474494)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,5.623281)	دوره ۴
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.1420090)	دوره ۵
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.1420090)	دوره ۶
(0.0001,0.0001,0.1510706; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	دوره ۷
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.1606379)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,13.20418)	دوره ۸
(0.0001,0.0001,0.2702007; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,30.60049)	دوره ۹
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.01218052)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,2.088542)	دوره ۱۰

جدول (۴-۵): وزن‌های فازی شهودی برای خروجی‌های نامطلوب بخش سوم

بخش سوم		بخش
u_6	u_5	دوره زمانی
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,5.907456)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,5.493685)	دوره ۱
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,4.897698)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,4.562912)	دوره ۲
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,14.42265)	دوره ۳
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,12.59314)	دوره ۴
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3605534)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3806671)	دوره ۵
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3605534)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.3806671)	دوره ۶
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,3.631645)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,6.991091)	دوره ۷
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,1.684603)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,5.677736)	دوره ۸
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,0.0001)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,8.251690)	دوره ۹
(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,6.014301)	(0.0001,0.0001,0.0001; 0.0001,0.0001,5.592173)	دوره ۱۰

با استفاده از معادلات (۳-۴۵) تا (۳-۴۸) ارائه شده در فصل ۳، مقدار کارایی سیستم و زیر واحدها در ده برش زمانی در محیط فازی شهودی را می‌توان محاسبه نمود که در جدول (۴-۶) ارائه شده است. در این قسمت کارایی سیستم و زیر واحدها برای برش زمانی اول (دوره ۱- بهار ۱۳۹۴) آورده شده است.

$$\begin{aligned} \bar{E}_1^I = & \left((0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.007u_1^{21} + 0.007u_1^{21} + 4 \times \right. \\ & 0.007u_2^{21} + 0.007u_3^{21} + 0.007u_3^{21}) + (515u_1^{31} + 515u_1^{31} + 4 \times 515u_2^{31} + 515u_3^{31} + 515u_3^{31}) + \\ & (5u_1^{41} + 6u_1^{41} + 4 \times 7u_2^{41} + 11u_3^{41} + 14u_3^{41}) \left. \right) \div \left((8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + 8v_3^{11}) + \right. \\ & (5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + \\ & 0.2v_3^{31}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + \\ & \left. 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61}) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_1^I = & \left((0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + 4 \times 0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times \right. \\ & 0.0313) + (0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.0001 + 4 \times 0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.0001 + \\ & 0.007 \times 0.3993) + (515 \times 0.0001 + 515 \times 0.0001 + 4 \times 515 \times 0.0001 + 515 \times 0.0001 + \\ & 515 \times 0.01195222) + (5 \times 0.0001 + 6 \times 0.0001 + 4 \times 7 \times 0.0001 + 11 \times 0.0001 + 14 \times \\ & 0.0001) \left. \right) \div \left((8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 4 \times 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001) + \right. \\ & (5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 4 \times 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001) + (0.2 \times 0.0001 + \\ & 0.2 \times 0.0001 + 4 \times 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 2.051756) + (0.845 \times 0.0001 + \\ & 0.845 \times 0.0001 + 4 \times 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 5.493685) + (0.479 \times \\ & \left. 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 4 \times 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 5.907456) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_1^{I(1)} = & \left((0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + \right. \\ & \left. 4 \times 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) \right) \div (8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + 8v_3^{11}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{E}_1^{I(1)} = & \left((0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + 4 \times 0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times \right. \\ & 0.0313) + (0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 4 \times 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times \\ & \left. 0.03663333) \right) \div (8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 4 \times 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001), \end{aligned}$$

$$\tilde{E}_1^{I(2)} = \left((0.007u_1^{21} + 0.007u_1^{21} + 4 \times 0.007u_2^{21} + 0.007u_3^{21} + 0.007u_3^{21}) + (0.3w_1^{21} + 0.3w_1^{21} + 4 \times 0.3w_2^{21} + 0.3w_3^{21} + 0.3w_3^{21}) \right) \div \left((5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + 4 \times 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) \right),$$

$$\tilde{E}_1^{I(2)} = \left((0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.0001 + 4 \times 0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.3993) + (0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 4 \times 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001) \right) \div \left((5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 4 \times 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001) + (0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 4 \times 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.03663333) \right),$$

$$\tilde{E}_1^{I(3)} = \left((515u_1^{31} + 515u_1^{31} + 4 \times 515u_2^{31} + 515u_3^{31} + 515u_3^{31}) + (5u_1^{41} + 6u_1^{41} + 4 \times 7u_2^{41} + 11u_3^{41} + 14u_3^{41}) \right) \div \left((0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.3w_1^{21} + 0.3w_1^{21} + 4 \times 0.3w_2^{21} + 0.3w_3^{21} + 0.3w_3^{21}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61}) \right)$$

$$\tilde{E}_1^{I(3)} = \left((515 \times 0.0001 + 515 \times 0.0001 + 4 \times 515 \times 0.0001 + 515 \times 0.0001 + 515 \times 0.01195222) + (5 \times 0.0001 + 6 \times 0.0001 + 4 \times 7 \times 0.0001 + 11 \times 0.0001 + 14 \times 0.0001) \right) \div \left((0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 4 \times 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 2.051756) + (0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 4 \times 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001) + (0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 4 \times 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 5.493685) + (0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 4 \times 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 5.907456) \right)$$

با استفاده از معادلات (۳-۴۹) تا (۳-۵۱) ارائه شده در فصل ۳، وزن‌های زیر واحدها در ده برش زمانی در محیط فازی شهودی را می‌توان محاسبه نمود که در جدول (۴.۶) ارائه شده است. در این قسمت وزن زیر واحدها برای برش زمانی اول (دوره ۱- بهار ۱۳۹۴) آورده شده است

$$\begin{aligned} \tilde{w}^{I(1)} = & (8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + 8v_3^{11}) \div \left((8v_1^{11} + 8v_1^{11} + 4 \times 8v_2^{11} + 8v_3^{11} + \right. \\ & 8v_3^{11}) + (5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + \\ & 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + \\ & \left. (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61}) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{w}^{I(1)} = & (8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 4 \times 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001) \div \\ & \left((8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 4 \times 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001 + 8 \times 0.0001) + (5 \times 0.0001 + 5 \times \right. \\ & 0.0001 + 4 \times 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001) + (0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 4 \times \\ & 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 2.051756) + (0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 4 \times \\ & 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 5.493685) + (0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times \\ & \left. 0.0001 + 4 \times 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 5.907456) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{w}^{I(2)} = & \left((5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + 4 \times 0.04w_2^{11} + \right. \\ & 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) \Big) \div \left((5v_1^{21} + 5v_1^{21} + 4 \times 5v_2^{21} + 5v_3^{21} + 5v_3^{21}) + (0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times \right. \\ & 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.04w_1^{11} + 0.04w_1^{11} + 4 \times 0.04w_2^{11} + 0.04w_3^{11} + 0.04w_3^{11}) + \\ & (0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times \\ & 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + \\ & \left. 0.479u_3^{61}) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{w}^{I(2)} = & \left((5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 4 \times 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001) + \right. \\ & (0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 4 \times 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times \\ & 0.03663333) \Big) \div \left((5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 4 \times 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001 + 5 \times 0.0001) + \right. \\ & (0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 4 \times 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 2.051756) + \\ & (0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 4 \times 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times 0.0001 + 0.04 \times \\ & 0.03663333) + (0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + 4 \times 0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + \\ & 0.10 \times 0.0313) + (0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 4 \times 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times \\ & 0.0001 + 0.845 \times 5.493685) + (0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 4 \times 0.479 \times 0.0001 + \\ & \left. 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 5.907456) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{w}^{I(3)} = & \left((0.2v_1^{31} + 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.3w_1^{21} + 0.3w_1^{21} + 4 \times \right. \\ & 0.3w_2^{21} + 0.3w_3^{21} + 0.3w_3^{21}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + 0.845u_3^{51} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61})) \div ((0.2v_1^{31} + \\
& 0.2v_1^{31} + 4 \times 0.2v_2^{31} + 0.2v_3^{31} + 0.2v_3^{31}) + (0.3w_1^{21} + 0.3w_1^{21} + 4 \times 0.3w_2^{21} + 0.3w_3^{21} + \\
& 0.3w_3^{21}) + (0.10u_1^{11} + 0.10u_1^{11} + 4 \times 0.10u_2^{11} + 0.10u_3^{11} + 0.10u_3^{11}) + (0.007u_1^{21} + \\
& 0.007u_1^{21} + 4 \times 0.007u_2^{21} + 0.007u_3^{21} + 0.007u_3^{21}) + (0.845u_1^{51} + 0.845u_1^{51} + 4 \times 0.845u_2^{51} + \\
& 0.845u_3^{51} + 0.845u_3^{51}) + (0.479u_1^{61} + 0.479u_1^{61} + 4 \times 0.479u_2^{61} + 0.479u_3^{61} + 0.479u_3^{61})), \\
\tilde{w}^{I(3)} = & ((0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 4 \times 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times \\
& 2.051756) + (0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 4 \times 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times \\
& 0.0001) + (0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 4 \times 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + \\
& 0.845 \times 5.493685) + (0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 4 \times 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times \\
& 0.0001 + 0.479 \times 5.907456)) \div ((0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times 0.0001 + 4 \times 0.2 \times 0.0001 + 0.2 \times \\
& 0.0001 + 0.2 \times 2.051756) + (0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times 0.0001 + 4 \times 0.3 \times 0.0001 + 0.3 \times \\
& 0.0001 + 0.3 \times 0.0001) + (0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times 0.0001 + 4 \times 0.10 \times 0.0001 + 0.10 \times \\
& 0.0001 + 0.10 \times 0.0313) + (0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.0001 + 4 \times 0.007 \times 0.0001 + \\
& 0.007 \times 0.0001 + 0.007 \times 0.3993) + (0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 4 \times 0.845 \times \\
& 0.0001 + 0.845 \times 0.0001 + 0.845 \times 5.493685) + (0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 4 \times \\
& 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 0.0001 + 0.479 \times 5.907456)),
\end{aligned}$$

با استفاده از معادلات (۳-۳۴) تا (۳-۳۶) ارائه شده در فصل ۳، کارایی بخش‌ها در ده برش زمانی در محیط فازی شهودی به شکل زیر بدست آمده و در جدول (۴-۶) ارائه شده است. در این قسمت کارایی سه بخش برای برش زمانی اول (دوره ۱- بهار ۱۳۹۴) آورده شده است.

$$\begin{aligned}
\tilde{E}_k^{I(a)} &= \tilde{w}^{I(1)} \tilde{E}_k^{I(1)} \oplus \tilde{w}^{I(4)} \tilde{E}_k^{I(4)} = \tilde{w}^{I(1)} \tilde{E}_k^{I(1)} \oplus (\tilde{1}^I \ominus \tilde{w}^{I(1)}) = (0.0007 \times 0.2699) + \\
& (1 - 0.0007) = 0.0001889 \\
\tilde{E}_k^{I(b)} &= \tilde{w}^{I(2)} \tilde{E}_k^{I(2)} \oplus \tilde{w}^{I(5)} \tilde{E}_k^{I(5)} = \tilde{w}^{I(2)} \tilde{E}_k^{I(2)} \oplus (\tilde{1}^I \ominus \tilde{w}^{I(2)}) = (0.000686 \times 0.5534) + \\
& (1 - 0.000686) = 0.00038 \\
\tilde{E}_k^{I(c)} &= \tilde{w}^{I(3)} \tilde{E}_k^{I(3)} \oplus \tilde{w}^{I(6)} \tilde{E}_k^{I(6)} = \tilde{w}^{I(3)} \tilde{E}_k^{I(3)} \oplus (\tilde{1}^I \ominus \tilde{w}^{I(3)}) = (0.9992 \times 0.8163) + \\
& (1 - 0.9992) = 0.8157
\end{aligned}$$

جدول (۴-۶): نتایج کارایی در محیط فازی شهودی برای سیستم تولیدی سیم و کابل مغان

E_k^I	$E_k^{I(c)}$	$E_k^{I(3)}$	$w^{(3)}$	$E_k^{I(b)}$	$E_k^{I(2)}$	$w^{(2)}$	$E_k^{I(a)}$	$E_k^{I(1)}$	$w^{(1)}$	دوره زمانی
۰/۸۱۶۰	۰/۸۱۶۵	۰/۸۱۶۳	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۷	۰/۵۵۳۴	۰/۰۰۰۷	۰/۹۹۹۵	۰/۲۶۹۹	۰/۰۰۰۷	دوره ۱- بهار ۱۳۹۴
۰/۶۷۱۶	۰/۶۷۲۱	۰/۶۷۱۹	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۹۸	۰/۶۲۰۰	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۹۶	۰/۶۲۲۲	۰/۰۰۰۹	دوره ۲- تابستان ۱۳۹۴
۰/۹۹۹۷	۱	۱	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۷	۰/۳۸۶۷	۰/۰۰۰۴	۱	۱	۰/۰۰۰۷	دوره ۳- پاییز ۱۳۹۴
۰/۹۹۹۸	۱	۱	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۸	۰/۷۳۲۳	۰/۰۰۰۶	۱	۱	۰/۰۰۰۶	دوره ۴- زمستان ۱۳۹۴
۰/۹۷۹۴	۰/۹۷۹۶	۰/۷۲۳۰	۰/۰۷۳۷	۰/۹۹۸۸	۰/۹۹۸۷	۰/۹۲۵۹	۰/۹۹۹۸	۰/۷۲۵۰	۰/۰۰۰۸	دوره ۵- بهار ۱۳۹۵
۰/۹۸۶۱	۰/۹۸۶۴	۰/۷۹۶۱	۰/۰۶۶۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۳۲۷	۰/۹۹۹۸	۰/۷۹۹۹	۰/۰۰۰۱	دوره ۶- تابستان ۱۳۹۵
۰/۹۴۱۷	۰/۹۴۲۵	۰/۹۴۲۵	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۹۸	۰/۷۱۶۰	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۴۹۷۰	۰/۰۰۰۱	دوره ۷- پاییز ۱۳۹۵
۰/۹۹۹۳	۱	۱	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۸	۰/۶۷۵۰	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۹۵	۰/۵۷۵۷	۰/۰۰۰۱	دوره ۸- زمستان ۱۳۹۵
۰/۹۹۹۲	۱	۱	۰/۹۹۹۱	۰/۹۹۹۹	۰/۹۸۵۱	۰/۰۰۰۴	۰/۹۹۹۳	۰/۴۳۸۹	۰/۰۰۰۱	دوره ۹- بهار ۱۳۹۶
۰/۸۰۷۲	۰/۸۰۷۷	۰/۸۰۷۶	۰/۹۹۹۲	۰/۹۹۹۸	۰/۶۲۸۴	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۹۶	۰/۶۱۳۳	۰/۰۰۰۱	دوره ۱۰- تابستان ۱۳۹۶



فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

امروزه با توجه به شرایط رقابتی، سازمان‌ها سعی می‌کنند تا به‌طور اثربخش کارایی سیستم را افزایش دهند. افزایش کارایی در سیستم مستلزم شناسایی عوامل ناکارایی در سیستم است. وجود تنوع گسترده در نوع سیستم‌های تولیدی و وجود عدم قطعیت در محیط، اندازه‌گیری کارایی سیستم را با مشکل مواجه کرده است. در سال‌های اخیر مدل‌های بسیاری براساس تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها توسعه داده شده است. ارزیابی عملکرد سازمان‌ها در جهت‌گیری تصمیمات استراتژیک آتی آنها نقش اساسی دارند. در این راستا می‌بایست میزان کارایی و بهره‌وری سازمان‌ها مورد توجه قرار گیرد تا از این طریق در تصمیم‌گیری‌های آتی روند رشد اقتصادی برنامه‌ریزی گردد. کارایی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهینه واحدهای اقتصادی است. شرکت‌های تولیدی در هر کشوری یکی از مهم‌ترین واحدهای اقتصادی هستند که با عملیات وسیع و گسترده در سطح جهانی می‌توانند شرایط مناسبی را برای رشد و پیشرفت در بخش‌های مختلف اقتصاد فراهم آورند. به همان میزان که افزایش کارایی این سیستم‌ها می‌تواند به رشد اقتصادی کشور کمک نماید؛ عملکرد ناکارای آنها منجر به بروز بحران خواهد شد.

آنچه در هر پژوهش بیش از سایر بخش‌ها اهمیت دارد. در درجه اول نتایجی است که از آن حاصل می‌گردد. در درجه بعد نیز پیشنهاداتی که با توجه به نحوه اجرای مراحل مختلف تحقیق حاصل می‌شود، می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

۵-۲ نتیجه‌گیری

با توجه به تفاوت ماهوی سازمان‌ها، خودارزیابی به عنوان یکی از بهترین روش‌های ارزیابی عملکرد محسوب می‌شود. سازمان‌ها می‌توانند فعالیت‌های خود را در افق زمانی مختلف برش زده و کارایی خود را در هر مقطع زمانی نسبت به سایر زمان‌ها ارزیابی نموده و دلایل کارایی و عدم کارایی خود را کشف نمایند. این مطالعه یک مدل خودارزیابی تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را در محیط‌های فازی شهودی

برای اندازه‌گیری کارایی سیستم سری- موازی (شبکه‌ای)، زمانی که بعضی از ورودی‌ها و خروجی‌ها ماهیت فازی شهودی دارند توسعه می‌دهد. برای این نوع از سیستم‌ها، مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی شهودی معمولی مناسب نیست زیرا سیستم‌ها را به عنوان یک کل در نظر می‌گیرد. در حالی که مدل پیشنهادی در این مطالعه در اندازه‌گیری کارایی فازی شهودی، فرآیندهای درونی را در نظر می‌گیرد. برای اطمینان از اثربخشی مدل پیشنهادی، مسئله خودارزیابی ده برش زمانی از یک سیستم با یک خروجی فازی شهودی (برند و جایگاه) در نظر گرفته شد. با بکارگیری این مدل در شرکت سیم و کابل مغان به عنوان مطالعه موردی، کاراترین دوره زمانی و کاراترین زیر واحد در هر دوره در مقاطع مختلف زمانی نشان داده شد و از طرفی ناکارآمدی هر مرحله نیز مشخص گردید. بطور مثال شرکت در دوره دوم (تابستان ۱۳۹۴) نسبت به سایر دوره‌ها در پایین‌ترین بازدهی ($E_k^I = 0/6716$) قرار دارد. براساس تحقیقات انجام شده در این خصوص مشخص شد که علت کاهش کارایی در این مقطع زمانی، اعتصاب گارگری و عدم سرویس به موقع دستگاه‌های خراب شده بوده است. در حالی که شرکت در دوره چهارم (زمستان ۱۳۹۴) به دلیل تعمیر و تعویض دستگاه‌های خراب‌شده و استفاده از دستگاه‌های پیشرفته‌تر و همچنین پرداخت مزایای انگیزشی به کارکنان (که یک طرح آزمایشی بوده و به دلیل کمبود بودجه در بقیه دوره‌ها پرداخت نشده است) توانسته است بالاترین کارایی ($E_k^I = 0/9998$) را در این ده برش زمانی داشته باشد.

در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها به دلیل آنکه نمی‌توان به‌طور دقیق ورودی‌ها و خروجی‌ها را پیش‌بینی کرد با ابهام روبه‌رو خواهیم بود. اگرچه در بعضی از موارد استفاده از روش‌های آماری می‌تواند تقریب خوبی از حالت واقعی باشد اما همیشه نمی‌تواند روش مطلوبی باشد بنابراین به‌جای استفاده از روش‌های آماری از مجموعه‌های فازی یا فازی شهودی استفاده شد. هدف نهایی از تأسیس هر شرکتی علاوه بر تولید محصول یا ارائه خدمات در جهت رشد و شکوفایی جامعه بدون شک دستیابی به سود مالی بیشتر می‌باشد. در راستای این هدف، یک شرکت تولیدی علاوه بر به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های عملیاتی

و افزایش سهم بازار در رقابت با سایر شرکت‌های هم‌ردیف، لازم است شناخت دقیقی از میزان کارایی و عوامل ایجادکننده ناکارایی به دست آورد. این مهم تا حدود زیادی با کمک نظرخواهی از متخصصان و استفاده از رویکردهای فازی و فازی شهودی ممکن می‌باشد. در این مطالعه راه‌حلی ارائه شد که در آن به‌جای استفاده از اعداد دقیق برای متغیرهای ورودی و خروجی که مبهم هستند، از اعداد فازی شهودی استفاده شد که می‌تواند در حل مسائل مربوط به اندازه‌گیری کارایی بسیار راهگشا باشد.

۳-۵ محدودیت‌های تحقیق

از محدودیت‌های موجود در این کار پژوهشی می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

➤ کمبود اطلاعات علمی برای دستیابی به مفاهیم اولیه مجموعه‌های فازی شهودی در مطالعات داخلی.

➤ پیچیدگی‌های محاسباتی در مدل‌های مرتبط با شبکه‌ای موازی و سری و به‌طور خاص مدل شبکه‌ای سری-موازی که نگارنده برای دستیابی به جواب بهینه از نرم‌افزار بهینه‌سازی LINGO استفاده کرده است.

➤ تعدد انواع ورودی‌ها و خروجی‌ها در شرکت مورد مطالعه و تصمیم‌گیری در مورد انتخاب آنها.

➤ محدودیت‌های جمع‌آوری برخی از داده‌ها.

۴-۵ پیشنهادات کاربردی

محققان می‌توانند با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی شهودی و نظرخواهی از خبرگان، عملکرد سازمان خود را بر پایه تغییرات دوره‌های زمانی با به کارگیری مدل تحلیل پوششی داده‌ها مورد محاسبه قرار داده تا بر این مبنا کارایی سازمان را در بازه‌های زمانی متفاوت اندازه‌گیری کنند که در این صورت با در نظر گرفتن ساختارهای شبکه در اندازه‌گیری کارایی قادر خواهند بود تا دلیل ناکارایی را در سیستم تشخیص داده و در جهت رفع آن اقدامات اصلاحی را انجام دهند.

۵-۵ پیشنهادات برای مطالعات آتی

رویکرد فازی شهودی به دلیل توانایی بالایی که در پیش‌بینی و کنترل شرایط عدم اطمینان با کمک نظرخواهی از خبرگان و متخصصان را دارد می‌تواند در سایر حوزه‌های صنعتی مانند تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، سیستم‌های تولیدی، زنجیره تأمین و غیره و همچنین حوزه‌های اقتصادی مانند پیش‌بینی روند تغییرات شاخص‌ها در بورس اوراق بهادار بکار گرفته شود. محققان در حوزه شرکت‌های تولیدی از رویکرد ارائه‌شده می‌توانند در اندازه‌گیری کارایی نیز استفاده کنند. همچنین با توجه به اینکه در مطالعه موردی برای تحلیل واحدهای تولیدی از داده‌های فازی شهودی استفاده شده لذا پیشنهاد می‌شود سایر محققین از سایر ورودی‌ها و خروجی‌های فاصله‌ای استفاده نمایند. در پژوهش حاضر مدل شبکه‌ای در دوره‌های زمانی به صورت کاملاً مستقل بکار گرفته شده در حالی که محققان می‌توانند با بکارگیری مدل‌های پویای تحلیل پوششی داده‌ها مدل پیشنهادی را تکامل دهند.



منابع و مأخذ

۱. شیخ، رضا؛ میرزایی، محدثه (۱۳۹۳)، خود ارزیابی ابعاد کیفیتی محصول براساس مدل اندازه مبتنی بر متغیر کمکی شبکه‌ای. نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت، جلد ۴، شماره ۱.

2. Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and Systems*, 20(1), 87-96.
3. Atanassov, K. T. (1989). More on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 33(1), 37-45.
4. Atanassov, K. T. (1999). Intuitionistic fuzzy sets *Intuitionistic Fuzzy Sets* (pp. 1-137): Springer.
5. Azizi, H. (2011). The interval efficiency based on the optimistic and pessimistic points of view. *Applied Mathematical Modelling*, 35(5), 2384-2393.
6. Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, 17(4), B-141-B-164.
7. Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
8. Bustince, H., Mohedano, V., Barrenechea, E., & Pagola, M. (2006). An algorithm for calculating the threshold of an image representing uncertainty through A-IFSs. *IPMU'2006*, 2383-2390.
9. Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
10. Chen, Y., Liang, L., Yang, F., & Zhu, J. (2006). Evaluation of information technology investment: a data envelopment analysis approach. *Computers & Operations Research*, 33(5), 1368-1379.
11. Chen, Y., & Zhu, J. (2004). Measuring information technology's indirect impact on firm performance. *Information Technology and Management*, 5(1), 9-22.
12. Chilingirian, J. A., & Sherman, H. D. (2011). Health-care applications: from hospitals to physicians, from productive efficiency to quality frontiers *Handbook on data envelopment analysis* (pp. 445-493): Springer.
13. Cook, W. D., Liang, L., & Zhu, J. (2010). Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective. *Omega*, 38(6), 423-430.

14. Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for dealing with imprecise data in DEA. *Management science*, 45(4), 597-607.
15. Daneshvar Rouyendegh, B. (2011). The DEA and intuitionistic fuzzy TOPSIS approach to departments' performances: a pilot study. *Journal of Applied Mathematics*, 2011.
16. Entani, T., Maeda, Y., & Tanaka, H. (2002). Dual models of interval DEA and its extension to interval data. *European Journal of Operational Research*, 136(1), 32-45.
17. Färe, R., & Grosskopf, S. (1996). Productivity and intermediate products: A frontier approach. *Economics Letters*, 50(1), 65-70.
18. Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-economic Planning Sciences* 34, 35–49.
19. Färe, R., Grosskopf, S., & Whittaker, G. (2007). Network dea *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis* (pp. 209-240): Springer.
20. Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2010). A slacks-based inefficiency measure for a two-stage system with bad outputs. *Omega*, 38(5), 398-409.
21. Grzegorzewski, P. (2003). *Distances and orderings in a family of intuitionistic fuzzy numbers*. Paper presented at the EUSFLAT Conf.
22. Hajiagha, S. H. R., Akrami, H., Kazimieras Zavadskas, E., & Hashemi, S. S. (2013). An intuitionistic fuzzy data envelopment analysis for efficiency evaluation under uncertainty: case of a finance and credit institution. *E a M: Ekonomija a Managementas*, 161, 128-137.
23. Hsieh, L.-F., & Lin, L.-H. (2010). A performance evaluation model for international tourist hotels in Taiwan—An application of the relational network DEA. *International Journal of Hospitality Management*, 29(1), 14-24.
24. Kao, C. (2012). Efficiency decomposition for parallel production systems. *Journal of the operational Research Society*, 63(1), 64-71.
25. Kao, C. (2014). Efficiency decomposition for general multi-stage systems in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 117-124.

26. 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.
27. Kao, C., & Liu, S.-T. (2000). Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. *Fuzzy sets and systems*, 113(3), 427-437.
28. Kao, C., & Liu, S.-T. (2011). Efficiencies of two-stage systems with fuzzy data. *Fuzzy Sets and Systems*, 176(1), 20-35.
29. Klir, G., & Wierman, M. (1999). *Uncertainty-based information: elements of generalized information theory* (Vol. 15): Springer Science & Business Media.
30. Lertworasirikul, S., Fang, S.-C., Joines, J. A., & Nuttle, H. L. (2003). Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach. *Fuzzy sets and Systems*, 139(2), 379-394.
31. Li, D.-F. (2014). *Decision and game theory in management with intuitionistic fuzzy sets*: Springer.
32. Li, D. F., CHEN, G. H., & HUANG, Z. G. (2010). Linear programming method for multi-attribute group decision making using IF sets. *Information Sciences*, 180(9), 1591–1609.
33. Liang, L., Yang, F., Cook, W. D., & Zhu, J. (2006). DEA models for supply chain efficiency evaluation. *Annals of Operations Research*, 145(1), 35-49.
34. Mahapatra, G., & Roy, T. (2009). Reliability evaluation using triangular intuitionistic fuzzy numbers arithmetic operations. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 50, 574-581.
35. Nagoorgani, A., & Ponnalagu, K. (2012). A new approach on solving intuitionistic fuzzy linear programming problem. *Applied Mathematical Sciences*, 6(70), 3467-3474.
36. Negoita, C., Zadeh, L., & Zimmermann, H. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, 1(3-28), 61-72.
37. Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Parallel Programming*, 11(5), 341-356.
38. Puri, J., & Yadav, S. P. (2015). Intuitionistic fuzzy data envelopment analysis: An application to the banking sector in India. *Expert Systems with Applications*, 42(11), 4982-4998.
39. Sexton, T. R., & Lewis, H. F. (2003). Two-stage DEA: An application to major league baseball. *Journal of Productivity Analysis*, 19(2), 227-249.

40. Shafer, G. (1976). *A mathematical theory of evidence* (Vol. 42): Princeton university press.
41. Simons, R. (2000). *Performance measurement and control systems for implementing strategy*: Prentice Hall.
42. Sugeno, M. (1974). Theory of fuzzy integrals and its applications. *Doctorial Thesis*.
43. Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2006). *An application of intuitionistic fuzzy set similarity measures to a multi-criteria decision making problem*. Paper presented at the ICAISC.
44. Szmidt, E., & Kukier, M. (2006). *Classification of imbalanced and overlapping classes using intuitionistic fuzzy sets*. Paper presented at the Intelligent Systems, 2006 3rd International IEEE Conference on.
45. Tone, K., & Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 243-252.
46. Triantis, K., & Girod, O. (1998). A mathematical programming approach for measuring technical efficiency in a fuzzy environment. *Journal of Productivity Analysis*, 10(1), 85-102.
47. Wei, G., Zhao, X., & Wang, H. (2012). An approach to multiple attribute group decision making with interval intuitionistic trapezoidal fuzzy information. *Technological and Economic Development of Economy*, 18(2), 317-330.
48. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
49. Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*(1), 28-44.
50. Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
51. Zhu, J., & Cook, W. D. (2007). *Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis*: Springer Science & Business Media.
52. Zimmermann, H. J. (1996). *Fuzzy Set Theory and Its Applications* (4th ed.). Boston: Kluwer.

Self-assessment of network production systems with intuitionistic fuzzy Data (case study: firm of Moghan wire and cable)

ABSTRACT

Studies show that the assumptions of all introduced data envelopment analysis techniques have been based on evaluating efficiency of decision-making unit (DMU) relative to similar units. Different and uncontrollable conditions for each DMU can be one of the reasons for the low validity of the results of assessment. Therefore, self-assessment of decision-making units (DMUs) is the best type of evaluation in which the maximum stability of the conditions is considered and as one of the innovations in this research is mentioned. The activity of manufacturing and service systems as a network in an unreliable environment is one of the most significant indicators of some organizations. The purpose of this study was to measure the efficiency of these types of institutions based on the fuzzy intuitionistic data envelopment analysis technique with a new self-assessment approach. According to the results of this study, the efficiency of Moghan wire and cable units in different time periods was determined and analyzed.

Keywords: Self-Assessment, Data Envelopment Analysis, Series-Parallel Production Systems (Network), Intuitionistic Fuzzy Network Data Envelopment Analysis



University of Shahrood

Faculty of industrial engineering and management

**Self-assessment of network production systems with
intuitionistic fuzzy Data**

(Case study: firm of Moghan wire and cable)

Zahra Ameri

Supervisor

Dr. Reza Sheikh

Advisor

Dr. Mojtaba Ghiyasi

January 2018