

دو فصلنامه آینده‌پژوهی ایران
سال دوم، شماره (۱)، پیاپی (۲)، بهار و تابستان ۱۳۹۶

تحلیل ساختاری به روش میک‌مک فازی در آینده‌نگاری راهبردی (مطالعه موردی آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴)

حامد طالبیان*

محمد مهدی مولایی

فریما قراری

چکیده

تحلیل ساختاری نخستین گام در آینده‌نگاری راهبردی است. در این گام متغیرهای کلیدی شناسایی و سپس اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر محاسبه می‌شوند. در روش سنتی میک‌مک، شدت روابط میان متغیرها با استفاده از اعداد قطعی محاسبه می‌شود، اما این روش امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های هنگام گردآوری داده و نیز امکان استفاده از متغیرهای زبانی به هنگام ارائه خروجی را ندارد. برای پاسخ به مشکلات فوق، تحلیل میک‌مک فازی یا تحلیل فازی زبان‌شناختی طراحی شده است. هدف از میک‌مک فازی آن است که امکان استفاده از متغیرهای زبانی در مرحله گردآوری داده‌ها و ارائه یافته‌ها فراهم شود. به دلیل آنکه میک‌مک فازی ابزاری پیشرفته‌تر برای انجام تحلیل ساختاری در آینده‌نگاری راهبردی محسوب می‌شود، در این مقاله پس از معرفی مختصر روش تحلیل اثرات متقابل با رویکرد میک‌مک و توصیف نحوه انجام محاسبات فازی در روش میک‌مک فازی، به این پرسش پاسخ می‌دهیم که این روش از چه نقاط قوتی در مقایسه با میک‌مک سنتی برخوردار است.

واژگان کلیدی: آینده‌نگاری راهبردی، تحلیل فازی، تحلیل ساختاری فازی، میک‌مک فازی، تحلیل اثرات متقابل.

* دانشجوی دکتری روابط بین‌الملل دانشگاه خوارزمی و مربی پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات (نویسنده مسئول)

htalebian@ricac.ac.ir

دانشجوی دکتری علوم ارتباطات دانشگاه تهران mm@mowlaei.ir

کارشناس ارشد علوم اجتماعی دانشگاه باهنر کرمان f.gharari@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱/۱۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۶/۱۷

مقدمه

آینده‌نگاری نوعی روشن کردن این موضوع است که اقدامات و تصمیم‌های حاضر به چه آینده‌های ممکن یا احتمالی منجر خواهد شد و چگونه می‌توان در مسیر تحقق آینده مطلوب حرکت کرد. در رویکرد کلاسیک نگاه به آینده، هدف پیش‌بینی یک آینده مشخص بود، اما در آینده‌پژوهی از انواع آینده‌ها سخن گفته می‌شود. (گوردن، ۱۳۹۲، ص ۳۸) این رویکرد را «آینده‌های چندگانه» یا «آینده‌های جایگزین» نامیده است. این نوع نگاه به آینده، تحت عنوان‌های مختلفی از جمله آینده‌نگاری، آینده‌پژوهی و غیره توسعه یافته است. از جمله مسیرهای توسعه آن در فرانسه و با عنوان «لاپراسپکتیو»^۱ انجام شده که در زبان انگلیسی از معادل «آینده‌نگاری راهبردی»^۲ برای آن استفاده می‌شود.

فلسفه پراسپکتیو^۳ را نخستین بار گاستون برگر، فیلسوف فرانسوی در میانه دهه ۱۹۵۰ مطرح کرد. از نظر او کارکرد آینده‌نگاری با رویکردی انسان‌شناختی مطالعه موقعیت‌های گوناگونی است که انسان خود را در آینده تصور می‌کند. در ادامه، آینده‌نگاری باید ارزش‌ها و امیال انسانی را از این موقعیت تصویری استخراج کند تا مأموریت آینده‌نگاری به سرانجام برسد که مطالعه مسیرهای پیشرفت آینده است. بدین ترتیب، یکی از راه‌های انجام این مأموریت گرد هم آوردن کسانی که توان تشخیص آرزوها و امیال را دارند، در کنار کسانی است که می‌توانند امکان‌ها را تشخیص دهند. بیان ویژگی‌های جهان ممکن آینده، به ما کمک می‌کند که تصمیم‌های مؤثری بگیریم. به همین دلیل است که برگر، آینده‌نگاری را علمی هنجاری در نظر می‌گیرد. (گوده، ۲۰۰۸، ص ۱۲) در دهه ۱۹۶۰، نخستین پژوهش‌های کاربردی آینده‌نگاری در اروپا و سپس در آمریکا آغاز شد که تاکنون در حوزه‌های مختلفی چون مدیریت راهبردی، اقتصاد و صنعت ادامه داشته است.

آینده‌نگاری راهبردی رویکردی هنجاری و توصیفی است که رابطه نزدیکی با مدیریت و برنامه‌ریزی راهبردی دارد. (گوده، ۲۰۰۴، ص ۴) راهبرد یا استراتژی در معنای کلی نوعی برنامه‌ریزی سطح بالا برای رسیدن به هدفی خاص در شرایط عدم قطعیت است. شرایط عدم قطعیت به دلیل عدم امکان پیش‌گویی قطعی درباره آینده همواره وجود دارد. هرچه تعیین راهبرد در بازه‌های زمانی طولانی‌تری صورت بگیرد، عدم قطعیت شرایط نیز بیشتر خواهد شد. آینده‌نگاری راهبردی رویکردی است که عدم قطعیت‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری راهبردی را در نظر می‌گیرد و کمک می‌کند که قلمروی ناشناخته‌ها در این فرآیند کاهش یابد. این رویکرد ۱: تحلیل روندهای داخلی و خارجی را با یکدیگر ترکیب می‌کند؛ ۲: فرآیند اتخاذ راهبرد را تسهیل می‌کند؛ ۳: از تصمیم‌گیری راهبردی پشتیبانی می‌کند؛ و ۴: برنامه‌ریزی خلاقانه را موجب

1. La Prospective
2. Strategic Foresight
3. The Philosophy of Prospective

می‌شود. (هگر و روربرگ^۱، ۲۰۱۲، ص ۳) بنابراین، آینده‌نگاری راهبردی، توانایی ایجاد و حفظ دیدگاهی پیش‌نگرانه است که کاربردی، باکیفیت و منسجم باشد. (اسلاتر^۲، ۱۹۹۷، ص ۱) روش‌های مختلفی برای آینده‌نگاری راهبردی وجود دارد. (برای نمونه ببینید: عیوضی و کیقبادی، ۱۳۹۱؛ کانوی^۳، ۲۰۰۶؛ اسلاتر، ۱۹۹۷؛ روربرگ، آرنولد و هیوئر، ۲۰۰۷؛ وورس، ۲۰۰۳). یکی از این روش‌های نظام‌مند را میشل گوده (۱۹۹۴؛ ۲۰۰۰؛ ۲۰۰۸؛ ۲۰۱۱)^۴، آینده‌پژوه فرانسوی، معرفی کرده است. با توجه به اهداف، سیستم‌ها و حوزه‌های مختلف مورد مطالعه، نسخه‌های مختلف آینده‌نگاری راهبردی به این روش معرفی شده است. در آخرین نسخه موجود، این روش آینده‌نگاری راهبردی از سه مرحله اصلی تشکیل شده است: تفکر جمعی، کسب آمادگی برای اقدام و اقدامات بعدی. مرحله اول از شش گام تشکیل شده است که سه گام اول آن مشخص کردن متغیرهای کلیدی است. این سه گام نخست مقدمه و بنیان اصلی همه مراحل دیگر را تشکیل می‌دهند و از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردارند. گام‌های بعد در مرحله اول شامل تحلیل بازیگران، ساختن مهم‌ترین سناریوهای محتمل بر مبنای نظر کارشناسان و تنظیم منسجم‌ترین برنامه راهبردی بر مبنای محتمل‌ترین سناریوهاست. مرحله دوم، اختصاص به تصمیم‌گیران ارشد دارد تا با استفاده از داده‌های گردآوری شده در مرحله قبل، گزینه‌های راهبردی را ارزشیابی و از مرحله تفکر به مرحله اقدام وارد شوند. مرحله آخر اختصاص به کاربرد عملی برنامه راهبردی دارد که ممکن است فعالیت‌های مختلفی چون ایجاد تغییرات از طریق قراردادهای جدید سازمانی یا رصد محیط تغییرات را شامل شود. (گوده، ۲۰۱۱، ص ۲۶-۳۰) مجموعه‌ای نرم‌افزاری برای تسهیل به‌کارگیری هر یک از گام‌های مرحله اول نیز فراهم شده است:

- ✓ تحلیل ساختاری به کمک نرم‌افزار میک مک یا برگزاری کارگاه‌های آینده برای مشخص کردن متغیرهای کلیدی؛
- ✓ روش و نرم‌افزار مک تور برای تحلیل راهبردهای بازیگران؛
- ✓ کاهش عدم قطعیت تا رسیدن به سناریوهای محتمل؛ برای این کار از روش‌های مبتنی بر کارشناسان یا تحلیل‌های ریخت‌شناختی استفاده می‌شود؛
- ✓ شناسایی و ارزیابی گزینه‌های راهبردی به کمک روش مولتی‌پول یا تحلیل چندمعیاره. (گوده، ۱۹۹۴، ص ۵۱)

شناسایی متغیرهای کلیدی گام نخست و مهم‌ترین گام آینده‌نگاری راهبردی است. روش انجام این مرحله، تحلیل ساختاری است که با هدف (۱) شناسایی متغیرها، (۲) توصیف روابط میان متغیرها و (۳) شناسایی متغیرهای کلیدی صورت می‌گیرد. (گوده، ۲۰۱۱، صص ۳۸-۸۶؛

مولایی و طالبیان، ۱۳۹۵ الف، صص ۵-۳۲) پس از فهرست کردن متغیرها توسط کارشناسان مشارکت‌کننده در پژوهش، روابط میان هر دو متغیر توصیف و امتیازدهی می‌شود. بدین ترتیب، شدت اثر هر متغیر بر متغیر دیگر توصیف می‌شود. مرحله پایانی، مرحله‌ای تحلیلی است که به کمک نرم‌افزار میک‌مک تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین (وابسته‌ترین) متغیرها و نیز متغیرهای کلیدی دیگری چون متغیرهای مستقل، اعتماد یا تنظیم‌کننده مشخص می‌شوند. (آرکید و گوده، ۱۹۹۹، ص ۱۸) در حوزه‌های آینده‌پژوهی، مدیریت استراتژیک و مهندسی در سطح جهانی از روش‌های مختلف تحلیل ساختاری استفاده شده است. (به‌عنوان نمونه: برازیل^۱، ۲۰۰۶؛ ویمر ژیله^۲، ۲۰۰۶؛ تورس و اولایا^۳، ۲۰۱۰؛ خورانا، میشر، جاینث و سینگا^۴، ۲۰۱۰؛ ساهو، بانوت و مومایا^۵، ۲۰۱۱؛ چاندر، جین و شانکار^۶، ۲۰۱۳؛ گورانه و کانت^۷، ۲۰۱۳؛ دابی و سینگ^۸، ۲۰۱۵؛ مولایی و طالبیان، ۱۳۹۵ الف؛ مولایی و طالبیان، ۱۳۹۵ ب؛ مولایی و دیگران، ۱۳۹۵؛ بهشتی و زالی، ۱۳۹۰؛ بزاز زاده، داداش‌پور و مطوف ۱۳۹۳؛ تقی‌لو، ۱۳۹۳؛ تقفی، علی احمدی، قاضی نوری و حورعلی، ۱۳۹۳)

داده‌هایی که برای تحلیل ساختاری با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان گردآوری می‌شود؛ در واقع، متغیرهایی کیفی و زبانی هستند نه داده‌های کمی خالص. در اکثر روش‌ها از کارشناسان تقاضا می‌شود که نظرات کیفی خود درباره تأثیر یک رویداد بر رویداد دیگر را با کدهای عددی که به صورت مصنوعی ساخته شده است، جایگزین کنند. برای مثال، اگر شدت یک تأثیر را کم ارزیابی می‌کنند، به جای آن عدد یک را در ماتریس اثرات متقابل جایگزین کنند. در روش سنتی میک‌مک نیز از همین راه‌کار برای تبدیل داده‌های کیفی به داده‌های کمی قابل‌سنجش استفاده می‌شود. این روش از طرفی به دلیل آنکه به صورت مصنوعی انجام می‌شود، نمی‌تواند ابهامات و عدم قطعیت‌های موجود در قضاوت کارشناسان را در نظر بگیرد و از طرف دیگر، متغیرهای سطح کیفی را به شیوه ساده و انعطاف‌ناپذیری به سطح سنجش مطلق می‌برد و با آن‌ها همچون اعداد واقعی رفتار می‌کند.

بنابراین، پرسشی که در اینجا پیش می‌آید آن است که آیا می‌توان برای استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر تبدیل قضاوت‌های کیفی به متغیرهای کمی، عدم قطعیت‌های موجود در قضاوت‌های کیفی کارشناسان را تا آنجا که ممکن است، ثبت کرد و در تحلیل‌های میک‌مک مورد استفاده قرار داد. روش میک‌مک فازی یکی از روش‌هایی است که برای پاسخ به این مشکلات طراحی

-
1. Braziel
 2. Weimer-Jehle
 3. Torres, Olaya
 4. KHURANA, MISHRAa, JAINb, SINGHa
 5. Sahoo, Banwet, Momaya
 6. Chander, Jain, Shankar
 7. Gorane, Kant
 8. Dubey, Singh

شده است. تا پیش از شکل‌گیری ریاضیات فازی، منطقی برای در نظر گرفتن ابهامات و عدم قطعیت‌های موجود در متغیرهای زبانی وجود نداشت، اما منطق فازی، با تعریف درجه عضویت، توانسته این ابهام و عدم قطعیت را در نظر بگیرد. بر همین اساس، محققان دانشگاه گرانادا روشی را برای انجام تحلیل ساختاری به روش میک مک طراحی کرده‌اند که علاوه بر فراهم کردن امکان ورود داده‌ها به صورت «متغیرهای زبانی» از منطق فازی برای تحلیل داده‌ها و ارائه خروجی نیز استفاده می‌کند. در این مقاله پس از معرفی کلیات تحلیل ساختاری و روش میک مک، با ذکر جزئیات بیشتر منطق محاسباتی، روش میک مک فازی معرفی و نحوه انجام محاسبات فازی در این روش معرفی شده است. در پایان برای ارزیابی ویژگی‌های این روش، با استفاده از یافته‌های «آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴» تفاوت‌ها و شباهت‌های میان یافته‌های حاصل از کاربرد روش میک مک فازی در مقایسه با روش میک مک سنتی ارائه شده است.

تحلیل ساختاری به روش میک مک

تحلیل ساختاری ابزاری برای نظم بخشیدن به تعداد زیادی از ایده‌هاست. این تحلیل با استفاده از ماتریسی که مؤلفه‌های اصلی یک سیستم را با یکدیگر ترکیب می‌کند، آن را توصیف می‌کند. با استفاده از این روش می‌توانیم متغیرهای اصلی یک سیستم را شناسایی کنیم که هم بیشترین نفوذ بر دیگر متغیرها را دارند و هم بیشترین وابستگی به متغیرهای دیگر را دارند. تحلیل اثرات متقابل یکی از روش‌های تحلیل ساختاری و مجموعه روش‌ها و ابزارهایی است که به‌عنوان مکمل روش‌هایی چون نظرسنجی یا دلفی در آینده‌پژوهی به کار می‌رود. این روش رویکردی تحلیلی برای بررسی تأثیر وقوع یک رویداد در یک مجموعه آینده‌پژوهی است. اکثر رویدادها و تحولات به نحوی مرتبط با سایر رویدادها و تحولات هستند. در این روش تلاش می‌شود تا تأثیر یا احتمال تأثیر یک رویداد بر رویدادی دیگر پیش‌نگری شود. (گوردن، ۲۰۱۲، ص ۱) این روش در گروه روش‌های نیمه-کمی و اکتشافی قرار دارد که بیشتر بر تعامل و شواهد متکی است. (مولایی، ۱۳۹۳، ص ۴)

در این روش از ابزارهایی چون جداول متقابل برای استنتاج نظام‌مند روابط متقابل میان متغیرهای مختلف استفاده می‌شود تا درکی از تحولات احتمالی آینده به دست آید که ناشی از تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم یک رویداد یا متغیر بر رویداد یا متغیری دیگر است. از روش‌های تأثیرات متقابل معمولاً در کارهای تحلیلی‌ای استفاده می‌شود که به دلیل واگرایی حوزه‌های مطالعه امکان اتکا بر مدل‌های قابل‌سنجش نظریه مبنای وجود ندارد و از طرف دیگر، بسیار پیچیده‌تر از آن هستند که قابلیت تحلیل سیستمی خالص و قانع‌کننده را داشته باشند. به‌طور معمول، انجام تحلیل ساختاری مستلزم حضور کمیته‌ای از کارشناسان و فعالان یک حوزه است.

روش میک مک برای تحلیل ساختاری یکی از انواع روش‌های تحلیل اثرات متقابل است که از جداول روابط متقابل استفاده می‌کند، اما برخلاف روش‌های دیگر، احتمالاتی نیست؛ بنابراین، این روش احتمال تأثیر یک متغیر بر متغیر دیگر را محاسبه نمی‌کند، اما وجود و شدت رابطه میان دو متغیر را به دست می‌دهد. وجود و شدت رابطه میان دو متغیر در مرحله تفکر جمعی مبتنی بر نظرات جمعی کارشناسان و خبرگان است و مراحل تحلیلی تنها برای جمع‌بندی و ارائه نتایج طراحی و مدون شده است.

برای انجام مراحل بالا، متخصصان در پنل‌های خبرگان بر اساس تجربه و دانش خود نخست فهرستی از متغیرهای کلیدی ارائه می‌دهد و سپس بسته به تعداد متغیرهای کلیدی، خانه‌های ماتریسی $n \times n$ از متغیرهای تأثیرگذار را امتیازدهی می‌کنند. این ماتریس، ماتریس تأثیرات مستقیم^۱ نامیده می‌شود و در آن هر درایه m_{ij} نمایانگر میزان تأثیر متغیر i بر متغیر j است و مقدار آن بسته به میزان تأثیر، می‌تواند ۰، ۱، ۲، ۳ یا ۴ (P) باشد. در این روش، عدد ۱ بیانگر تأثیرات ضعیف، عدد ۲ بیانگر تأثیرات متوسط و عدد ۳ بیانگر تأثیرات شدید یا قوی است. عدد ۴ نیز بیانگر این موضوع است که از نظر کارشناسان و خبرگان شرکت‌کننده در پژوهش، تأثیر دو متغیر بر یکدیگر احتمالی است، بدین معنا که ممکن است تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری وجود داشته باشد یا نداشته باشد. با تغییر درایه‌های دارای کد ۴ یا P در مرحله تحلیل نرم‌افزاری می‌توان تأثیرات احتمالی را نیز شناسایی کرد. سپس در مرحله سوم با استفاده از یکی از دو روش مستقیم^۲ یا غیرمستقیم^۳ می‌توان میزان تأثیر را مشخص کرد.

در روش مستقیم، تأثیر مستقیم متغیر K بر دیگر متغیرها حاصل جمع تمامی مقادیر سطر K از ماتریس M است و تأثیرپذیری متغیر k از سایر متغیرها حاصل جمع مقادیر ستون K است. پس با تعیین جمع سطری و ستونی متغیرها، رتبه‌بندی σ_D^M و σ_I^M برای هر متغیر به دست می‌آید و از مرتب‌سازی این مقادیر، اهمیت هر متغیر محاسبه می‌شود. فرمول‌های (۱) نشان‌دهنده جبر ریاضی این فرآیند است:

$$I_k = \sum_{j=1}^n m_{kj}$$

$$(k = 1, 2, \dots, n)$$

فرمول (۱): اثرات مستقیم در تحلیل ساختاری

به روش میک مک

$$D_k = \sum_{i=1}^n m_{ik}$$

$$(k = 1, 2, \dots, n)$$

(ویلاکورتا^۴ و دیگران، ۲۰۱۲، ص ۴)

1. Matrix of Direct Influence (MDI)

2. Direct method

3. Indirect method

4. Villacorta, P. J et al.

پس از این مرحله، به کمک روش میک مک می‌توان تأثیرات غیرمستقیم را شناسایی کرد. تأثیر غیرمستقیم در این روش به معنای انتشار یا پخش^۱ تأثیر یک متغیر بر متغیر دیگر از طریق یک متغیر واسط است. در ادبیات تحلیل شبکه‌های اجتماعی، به این موضوع، محاسبه فواصل درجه اول گفته می‌شود که برای محاسبه آن از شاخص میانجی^۲ استفاده می‌شود. فواصل درجه اول بدین معناست که پخش یا انتشار تأثیر یک متغیر بر متغیر دیگر تنها از یک متغیر واسط می‌گذرد نه بیشتر. در عمل، تأثیرات غیرمستقیم درجه دوم، معمولاً تأثیراتی ضعیف هستند و به همین دلیل، محاسبه تأثیرات درجه چندم (برای مثال، انتشار غیرمستقیم تأثیر یک متغیر از طریق دو یا چند متغیر واسط)، در رویکرد سیستمی قابل‌صرف‌نظر کردن است، هرچند که در ادبیات تحلیل شبکه با محاسبه مسیرهای چندگانه به کمک شاخص‌های مختلف تحلیل شبکه، می‌توان اطلاعات مرتبط دیگری نیز به دست آورد. (به عنوان نمونه: طالبیان و مولایی، ۱۳۹۵، صص ۵۱-۹۰)

اگر به جای محاسبه مستقیم رتبه‌های تأثیر و وابستگی از ماتریس M آن‌ها را از ماتریس M^δ محاسبه کنیم که در آن δ یک عدد صحیح کوچک (گوده مقدار ۷ یا ۸ را پیشنهاد می‌کند) است، به طوری که رتبه تأثیر و وابستگی متغیرهایی که از M^δ به دست می‌آید با مقادیر حاصل از هر M^r که $r \geq \delta$ یکسان باشد، می‌توان به مقدار δ ثابتی رسید. به عبارت دیگر، با به توان رساندن ماتریس تأثیرات در چندین مرحله، محاسبه جمع‌های سطری و ستونی و رتبه‌بندی متغیرها، به تدریج رتبه متغیرها به سمت مقدار مشخصی میل می‌کند. این، اساس الگوریتم تکرارشونده برای محاسبه تأثیرات غیرمستقیم است. الگوریتم محاسبه تأثیرات غیرمستقیم در این روش در دو مرحله انجام می‌پذیرد که مرحله دوم تا مرحله‌ای تکرارشونده است. محاسبه ماتریس M^δ مشابه با ضرب یک ماتریس اسکالر در خودش است و به شکل $M^p = \prod_p M$ انجام می‌شود. مراحل انجام این فرآیند بدین شرح است:

۱. مقداردهی اولیه: در گام نخست مقادیر محاسبه‌شده از روش مستقیم به σ_D^M و σ_I^M اختصاص داده می‌شود و A ماتریس اثرات مستقیم یا همان M است.
۲. تکرار: $D_0 A$ را از ضرب $A \times M$ و مقادیر σ_D^A و σ_I^A را از روش مستقیم محاسبه کرده و سپس σ_I^A را با σ_I و σ_D^A را با σ_D مقایسه می‌کنیم. اگر مقادیر یکسان باشد، روند پایان می‌یابد در غیر این صورت مرحله ۲ با قرار دادن ماتریس‌های جدید به جای ماتریس‌های قدیمی تکرار می‌شود؛ بنابراین، خواهیم داشت:

$$\sigma_I^A = \sigma_I \text{ و } \sigma_D^A = \sigma_D$$

ماتریس M^5 حاصل از آخرین تکرار را برابر M' قرار می‌دهیم که ماتریس تأثیر غیرمستقیم^۱ نامیده می‌شود. تأثیر غیرمستقیم K بر سایر متغیرها از جمع تمام مقادیر سطر K ماتریکس M' به دست می‌آید و به همین ترتیب تأثیرپذیری (وابستگی) غیرمستقیم متغیر K با جمع تمام مقادیر ستون K ماتریکس M' محاسبه می‌شود. بدین ترتیب دو معیار متفاوت محاسبه شده از M' و مرتبط بر هر متغیر داریم.

$$I'_k = \sum_{j=0}^n m'_{ij} \quad \text{فرمول (۲): اثرات غیرمستقیم در روش میک‌مک}$$

$$D'_k = \sum_{i=1}^n m'_{ik} \quad \text{(ویلاکورتا و دیگران، ۲۰۱۲، ص ۵)}$$

$(k = 1, 2, \dots, n)$
 $(k = 1, 2, \dots, n)$

با اجرای محاسبات فوق، می‌توان اثرات متقابل متغیرهای تأثیرگذار یک سیستم بر یکدیگر را محاسبه کرد. با به دست آمدن عدد مربوط به تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (وابستگی) به روش فوق، می‌توان جایگاه نسبی متغیرها نسبت به یکدیگر را در فضای دوبعدی ترسیم کرد. در نرم‌افزار میک‌مک که برای انجام محاسبات ریاضی فوق طراحی شده است، محور افقی بیانگر میزان تأثیرپذیری (وابستگی) و محور عمودی بیانگر میزان تأثیرگذاری است.

میک‌مک زبان شناختی فازی

مهم‌ترین مشکل تحلیل ساختاری به روش سنتی میک‌مک عدم دقت داده‌ها در مرحله گردآوری داده‌هاست. کارشناسان و خبرگان شرکت‌کننده در پژوهش معمولاً در مراحل تفکر جمعی درباره شدت رابطه میان دو متغیر با ادبیات کیفی زبان شناختی به تفکر و تشریک مساعی می‌پردازند. در ادامه، تسهیل‌گران شرکت‌کننده در پنل‌های کارشناسی، مجموع نظر خبرگان را که معمولاً با متغیرهای زبانی چون تأثیر {ضعیف، متوسط یا قوی} بسته به شیوه سازمان‌دهی اطلاعات بیان می‌شود، در قالب کدهای عددی قطعی (مثلاً ۱، ۲ یا ۳) در ماتریس اثرات مستقیم وارد می‌کنند. این در حالی است که این عبارات زبانی در عالم واقع تا این حد دقیق و کامل نیست و همواره سطحی از عدم قطعیت‌ها و ابهام‌ها در بحث‌های فردی و جمع نظرات کارشناسان وجود دارد. اگر به جای برگزاری پنل‌های خبرگان، از روش‌های تکمیل فردی و مجزا برای گردآوری داده‌ها استفاده شود، سطح عدم قطعیت و ابهام در داده‌ها به شدت افزایش می‌یابد. برای خبرگان معمولاً استفاده از عبارات کیفی بر اساس تجربه در یک حوزه تخصصی راحت‌تر است؛ بنابراین، استفاده از متغیرهای زبان شناختی می‌تواند راه‌حل مناسبی در نظر گرفته شود، اما پیش از شکل‌گیری ریاضیات فازی راهی برای تبدیل متغیرهای کیفی به متغیرهای کمی وجود نداشت.

علاوه بر این، مرحله ارائه یافته‌ها نیز برخوردار از ابهام و عدم قطعیت‌هایی است که در روش سنتی میک مک به آن توجه نشده است. در روش میک مک، متغیرهایی که مجموع تأثیراتشان از نصف بزرگ‌ترین عدد تأثیرات بیشتر باشد، تأثیرگذار و تأثیرپذیر (وابسته) در نظر گرفته می‌شود و بقیه متغیرها مستقل در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، نقشه‌های تأثیرات به چهار بخش افراز می‌شود. (به عنوان نمونه: آرکید^۱ و دیگران، ۱۹۹۹، ص ۱۸؛ مولایی و دیگران، ۱۳۹۵) این روش چند مشکل اساسی دارد؛ نخست آنکه الحاق برچسب زبانی (تأثیرگذار و تأثیرپذیر) از هیچ منطق محاسباتی برخوردار نیست و تنها به معیار نصف به اضافه یک اکتفا شده است. دوم آنکه در نقشه‌های تأثیرات تنها می‌توان گروهی از متغیرهای تأثیرگذار و تأثیرپذیر را مشاهده کرد، اما نمی‌توان برچسب زبانی مخصوص به هر متغیر تعریف کرد. سوم آنکه امکان افراز محورهای عمودی و افقی نقشه‌های اثرات بسته به نیازهای کاربردی پژوهش یا تجمیع متغیرها در یک ناحیه وجود ندارد. چهارم آنکه جداول نمره و رتبه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها تنها میزان اهمیت نسبی متغیرها در مقایسه با یکدیگر را نشان می‌دهند، اما چون روشی برای الصاق برچسب زبانی به رتبه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها وجود ندارد، نمی‌توان درباره تأثیر مطلق متغیرها قضاوت کرد. (برای مثال، دسته متغیرهای دارای تأثیرگذاری غیرمستقیم قوی را برای تدوین یک سناریوی خاص انتخاب کرد)

میک مک زبان‌شناختی فازی برای تحلیل اثرات متقابل^۲ برای حل مشکلات فوق طراحی شده است. ایده اصلی این است که با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی برای کارشناسان و خبرگان شرکت‌کننده در یک پژوهش، این امکان فراهم شود که بتوانند جداول تأثیرات متقابل را به جای مقادیر کمی عددی مطلق با مقادیر کیفی زبان‌شناختی پر کنند. با استفاده از این روش، کارشناسان و خبرگان شرکت‌کننده در یک پنل آینده‌پژوهی، می‌توانند درایه‌های ماتریس اثرات متقابل را با متغیرهای زبانی شدت‌دار (برای مثال، قوی، متوسط، ضعیف) پر کنند. با وجود این، برای استفاده از مدل‌های تحلیل فازی باید متغیرهای ترتیب‌دار کلمات را به‌عنوان پیش‌فرض به کارشناسان معرفی کرد. روش کار بدین صورت است که کارشناسان می‌توانند تأثیرات متقابل دو متغیر را از ضعیف تا خیلی قوی مشخص کنند. پس از انجام تحلیل‌های فازی نیز می‌توان خروجی ماتریس اثرات متقابل را بر اساس همین متغیرهای زبانی ترتیب‌دار دوباره دسته‌بندی و مرتب کرد یا متغیرهای زبانی ترتیبی دیگری را جایگزین کرد. برای مثال، کارشناسان می‌توانند با متغیرهای زبانی شدت‌دار سه‌تایی تأثیرات را ارزیابی کنند، اما در هنگام ارائه خروجی از متغیرهای زبانی پنج‌تایی استفاده شود، سپس بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی، متغیرهای کیفی تبدیل به اعداد فازی می‌شوند، محاسبات فازی بر روی آن‌ها صورت

1. Arcade

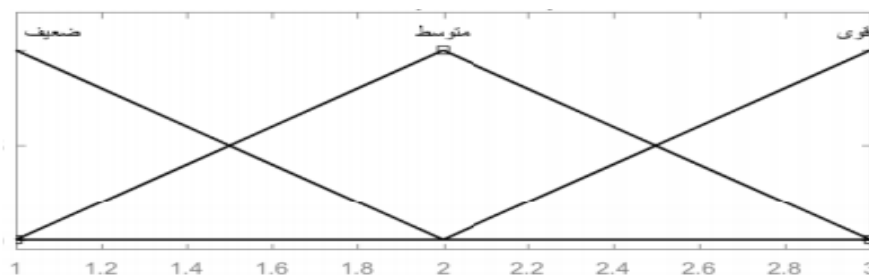
2. FLMICMAC: Fuzzy Linguistic MICMAC of Cross Impact Analysis

می‌گیرد و سپس به کمک روش‌های مرسوم ممدانی^۱ در ریاضیات فازی، فازی‌زدایی و گزارش می‌شوند و بسته به نتایج، برچسب‌های زبانی خروجی برای آن‌ها تعریف می‌شود. (طالبیان، مولایی و قراری، ۱۳۹۵، صص ۱۳۵-۱۴۳) در ادامه، این فرآیند با ارائه یک مثال تشریح شده است.

در روش میک‌مک فازی از اعداد مثلثی فازی^۲ برای تبدیل متغیرهای زبانی به متغیرهای عددی استفاده شده است. اعداد مثلثی فازی، اعدادی هستند که تابع عضویشان با سه عدد واقعی تعریف می‌شود. همه محاسبات عددی این روش به کمک توابع عضویتی انجام می‌شود که برای هر یک از متغیرهای زبانی تعریف می‌شود. از توابع فازی برای تبدیل متغیرهای زبانی ترتیب‌دار به اعداد فازی، انجام محاسبات فازی و سپس تبدیل دوباره نتایج از اعداد فازی به متغیرهای زبانی استفاده می‌شود. در ادامه، تعریف ریاضی تابع مثلثی عضویت و نمودار حاصل از آن برای سه متغیر زبان‌شناختی {ضعیف، متوسط، قوی} آمده است:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

فرمول (۳): توابع عضویت مثلثی برای متغیرهای زبانی



نمودار (۱): تابع مثلثی متناظر با رشته‌های زبانی سه‌تایی

با توجه به نمودار و تابع فوق، اصول تعریف اعداد فازی برای متغیرهای زبانی قابل مشاهده است. متغیرهای زبانی را می‌توان با اعداد واقعی متناظر کرد (برای مثال، به جای رشته «ضعیف» کد ۱ را جایگزین کرد^۳ و سپس اعمال ریاضی را بر روی آن‌ها انجام داد)، اما این روش از دقت چندانی برخوردار نیست. برای مثال، کد ۱ و ۲، دو عدد قطعی هستند که طیف وسیعی از امکان‌های ممکن میان این دو عدد را در نظر نمی‌گیرند. به عبارت دیگر، شاخص‌های کیفی طیفی از مقادیر و امکان‌های مختلف هستند نه یک عدد قطعی. بر همین اساس می‌توان از اعداد متناظر فازی استفاده کرد. برای مثال، برای کد «ضعیف» تابع عضویتی تعریف می‌شود که در

۱- دو روش اصلی برای فازی‌زدایی توابع فازی وجود دارد: روش ممدانی و روش سوگنو. در روش ممدانی نتیجه استنتاج فازی عددی غیرفازی است در حالی که در روش سوگنو خروجی ترکیبات خطی از اعداد فازی است.

2. Triangular Fuzzy Numbers (TFNs)

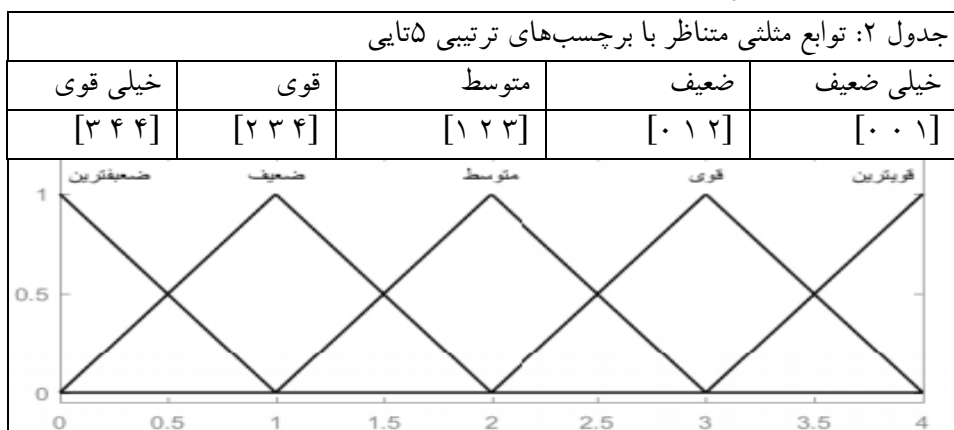
۳. از این روش در کدگذاری داده‌های پرسشنامه‌ای برای مثال استفاده می‌شود.

دامنه‌ای کمی قبل از عدد یک شروع شود (همچون نمودار ۱)، درست روی عدد یک به بیشترین مقدار خود می‌رسد (درجه تعلق ۱) و بعد با رسیدن به بیشترین مقدار کد «متوسط»، (عدد ۲) مقدار تابع عضویت کد «ضعیف» به صفر (درجه تعلق صفر) می‌رسد. اگر تابع عضویت جدیدی به همین شکل برای کد «متوسط» و «قوی» نیز در نظر گرفته شود، همچون نمودار فوق، فضای پیوسته میان تأثیرات ضعیف تا تأثیرات قوی در نظر گرفته می‌شود. هرچند که به لحاظ ریاضیاتی و نظری، امکان تعریف تعداد بیشتری رشته زبانی و نیز تعریف توابع عضویتی دیگری (برای مثال، گوسی یا دوزنقه‌ای) نیز وجود دارد، اما استفاده از متغیرهای ترتیبی سه‌تایی و توابع مثلثی رایج‌تر است و در ابزار نرم‌افزاری افال میک مک از همین توابع استفاده شده است. در روش میک مک فازی همیشه از توابع مثلثی استفاده می‌شود، اما تعداد متغیرهای زبانی یا برچسب‌ها، بنا به طراحی پژوهش می‌تواند متفاوت باشد.

همان‌گونه که تاکنون نشان دادیم، مهم‌ترین تفاوت روش میک مک فازی با روش میک مک سنتی در تعریف متغیرهای زبانی برای پر کردن درایه‌های ماتریس اثرات متقابل و تعریف اعداد فازی متناظر با آن برای انجام محاسبات عددی است. در ادامه برای محاسبه تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم از کلیت روش میک مک پیروی می‌شود با این تفاوت که به محاسبات فازی پیچیده‌تری برای رتبه‌بندی و محاسبه اثرات نیاز است. همچنین در پایان انجام محاسبات، باید از معیار دیگری برای بازگرداندن یافته‌ها از فضای محاسبات فازی به «متغیرهای زبانی» استفاده شود. این روند که از چندین مرحله به‌هم‌پیوسته تشکیل شده است، در ادامه به‌اختصار معرفی شده است: (ویلاکورتا و دیگران، ۲۰۱۴، ص ۲۲-۲۴)

۱- تعریف مجموعه برچسب‌های زبانی: همان‌گونه که گفتیم، برچسب‌های زبانی، مقادیری کیفی هستند که کارشناسان و خبرگان شرکت‌کننده در یک پنل بسته به تجارب شخصی خویش به درایه‌های ماتریس اثرات متقابل اختصاص می‌دهند. ساده‌ترین برچسب‌های ترتیبی مقادیر سه‌گانه «ضعیف»، «متوسط» و «قوی» است. اگر برچسب‌ها بدین شکل انتخاب شوند، این مدل متناظر با مدل امتیازدهی ۰، ۱، ۲، ۳ در مدل گوده است، اما به لحاظ روشی هیچ محدودیتی برای انتخاب متغیرهای ۵ تایی، ۷ تایی، ۹ تایی یا بیشتر بسته به طراحی پژوهش، میزان عدم قطعیت‌های موضوع مورد مطالعه و سطح دقت مورد نیاز وجود ندارد. همچنین محدودیتی در انتخاب دامنه راست، میانه و چپ توابع مثلثی نیز وجود ندارد و پژوهش‌گران بسته به نیاز خود، می‌تواند توابع عضویت مثلثی متقارن یا نامتقارن برای پوشش دادن سطحی از عدم قطعیت‌ها طراحی کنند. در اینجا تنها نکته دارای اهمیت، این است که تعداد متغیرهای زبانی باید عددی فرد باشد تا بتوان مجموعه فازی را به دو زیرگروه تقسیم کرد. از این موضوع برای مرحله فازی‌زدایی^۱ استفاده می‌شود. بدین ترتیب ماتریس اثرات مستقیم در روش

میک‌مک به ماتریس زبانی اثرات متقابل^۱ تبدیل می‌شود. برای مثال، اگر برجسب‌های زبانی به صورت ترتیب ۵ تایی تعریف شود، کران‌های عدد فازی مثلثی متناظر با هر کدام از برجسب‌ها و نمودار آن به صورت زیر خواهد بود:



۲- محاسبه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (وابستگی) مستقیم و غیرمستقیم: کلیات و اصول انجام این مرحله همچون روش میک‌مک است. تنها تفاوت در این است که برخلاف درایه‌های ماتریس اثرات متقابل، در ماتریس اثرات متقابل فازی، هریک از درایه‌های زبان‌شناختی متناظر با یک عدد فازی است که تابع عضویتی مخصوص به خود دارد. به همین دلیل جمع و سطری و ستونی برای شناسایی اثرگذاری و اثرپذیری (وابستگی) مستقیم باید بر اساس اصول جمع و ضرب اعداد فازی صورت بگیرد. همچنین، ضرب تکراری تا مرتبه K ماتریس اثرات متقابل زبان‌شناختی در خودش و رتبه‌بندی متغیرها تا رسیدن به ثبات در رتبه‌بندی، باید بر اساس قواعد ضرب اعداد فازی صورت بگیرد. انجام اعمال ریاضی بر روی اعداد فازی روش‌ها و انواع مختلفی دارد، اما در روش میک‌مک فازی از فرمول‌های جدول (۳) استفاده می‌شود:

جدول (۳): اعمال ریاضی فازی و روش فازی‌زدایی

$T_1 \oplus T_2 = [a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2]$	جمع اعداد فازی
$T_1 \otimes T_2 = [a_1 * a_2, b_1 * b_2, c_1 * c_2]$	ضرب اعداد فازی
$C(T) = \frac{(a+4b+c)}{6}$	روش فازی‌زدایی

به شکل ساده، برای جمع و ضرب اعداد فازی باید کران چپ، میانه و راست تابع عضویت را در یکدیگر جمع و ضرب کرد. در نتیجه، جمع سطری و ستونی اعداد فازی خود عددی فازی و دارای تابع عضویت مخصوص به خود خواهد بود. به همین دلیل، رتبه‌بندی متغیرها به سادگی

ممکن نیست؛ مگر عدد فازی نهایی را از حالت فازی به عددی قطعی بازگردانیم و به صورت نزولی یا صعودی اعداد حاصل را مرتب کنیم تا متغیرها به لحاظ شدت تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری (وابستگی) مرتب شوند. در روش میک مک، از فرمول بالا برای فازی‌زدایی استفاده می‌شود. در جدول (۳)، موارد بالا برای چهار متغیر فرضی انجام گرفته و نتایج قابل مشاهده است:

جدول (۳): مثال فرضی محاسبه تأثیرگذاری مستقیم فازی					سطری مثنی جمع تابع (تأثیرگذاری مستقیم)	فازی‌زدایی	رتبه تأثیرگذاری مستقیم	برچسب زبانی خروجی
(۱) متغیر	(۲) متغیر	(۳) متغیر	(۴) متغیر	برچسب قوی				
متغیر (۱)	۰	متوسط	قوی	ضعیف	[۴۶۸]	۶	۳	متوسط
متغیر (۲)	قوی	۰	قوی	۰	[۴۶۶]	۵/۶۶	۴	قوی
متغیر (۳)	قوی	قوی	۰	ضعیف	[۵۷۸]	۶/۸۳	۲	قوی
متغیر (۴)	قوی	قوی	متوسط	۰	[۵۸۹]	۷/۶۶	۱	قوی
برچسب قوی [۲۳۳]					برچسب متوسط [۱۲۳]		برچسب ضعیف [۱۱۲]	

همان‌گونه که در نمودار فوق قابل مشاهده است، برای هر یک از برچسب‌های زبانی توابع عضویت مثلثی تعریف شده است. کران چپ، میانه و راست این توابع در سطر آخر جدول قابل مشاهده است. نمودار همپوشانی این توابع شکلی همچون نمودار (۱) خواهد داشت. پس از این، بر اساس قانون جمع اعداد فازی، جمع‌های سطری ماتریس که بیانگر مجموع تأثیرگذاری مستقیم متغیر (۱) بر متغیرهای دیگر است، محاسبه شده است. در ادامه پس از تبدیل عدد فازی به عدد قطعی (ستون ششم) متغیرها به لحاظ میزان تأثیرگذاری رتبه‌بندی و در مرحله آخر برچسب زبانی خروجی محاسبه شده است.

۳- محاسبه مجموعه برچسب‌های زبانی خروجی: به دلیل آنکه داده‌های ورودی ماتریس، متغیرهای زبانی هستند، بهتر است که متغیرهای خروجی نیز متغیرهای زبانی باشند، زیرا تبدیل کردن آن‌ها به عدد قطعی چندان مرتبط به نظر نمی‌رسد. نتیجه جمع و ضرب ماتریسی اعداد فازی، خود عددی فازی است که دارای تابع عضویت است. به دلیل آنکه تابع عضویت این روش مثلثی است، نتیجه جمع و ضرب سطری و ستونی ماتریس اثرات متقابل زبان‌شناختی برای محاسبه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (وابستگی) مستقیم و غیرمستقیم دارای کران چپ، میانه و راست خواهد بود. تبدیل این اعداد فازی مثلثی به متغیرهای زبانی، سه مرحله مرتبط به یکدیگر دارد. نخست، به کمک فرمول‌های جدول (۴)، تابع مثلثی خروجی ساخته می‌شود.

جدول (۴): نحوه محاسبه تابع مثلثی تأثیرگذاری و وابستگی خروجی (ویلاکورتا و دیگران، ۲۰۱۴، ص ۲۳)	
$L_{inf} \leftarrow \min_k [a_k; I_k^m = [a_k, b_k, c_k]]$	$L_{dep} \leftarrow \min_k [a_k; D_k^m = [a_k, b_k, c_k]]$
$C_{inf} \leftarrow \text{median}_k [a_k; I_k^m = [a_k, b_k, c_k]]$	$C_{dep} \leftarrow \text{median}_k [a_k; D_k^m = [a_k, b_k, c_k]]$
$R_{inf} \leftarrow \max_k [a_k; I_k^m = [a_k, b_k, c_k]]$	$R_{dep} \leftarrow \max_k [a_k; D_k^m = [a_k, b_k, c_k]]$
)(k: 1, ..., n	

با استفاده از فرمول‌های جدول (۴)، تابعی مثلثی ساخته می‌شود که برای مقایسه با تابع مثلثی حاصل از جمع سطری و ستونی اعداد فازی به کار گرفته می‌شود. فرمول‌های ستون سمت چپ و راست بدین معناست که برای ساخت این تابع مقایسه‌ای، باید همه اعداد فازی سطری و ستونی با یکدیگر مقایسه شوند. برای مثال، فرمول‌های سمت راست جدول نشان می‌دهند که باید همه توابع مثلثی ستون k ماتریس اثرات متقابل مقایسه شوند، سپس کمینه کران چپ به‌عنوان کران چپ خروجی، میانه کران‌های میانه به‌عنوان کران میانی خروجی و بیشینه کران راست، به‌عنوان کران سمت راست تابع خروجی انتخاب شوند. بدین ترتیب توابع مثلثی متناظر با هریک از متغیرها در سطر یا ستون مورد نظر مقایسه می‌شوند تا تابع مثلثی خروجی ساخته شود. بسته به آنکه تعداد برجسب‌های زبانی چه تعداد باشد (برای مثال، سه رشته ضعیف، متوسط، قوی یا بیشتر) ماتریس مقایسه‌ای نهایی با استفاده از فرمول‌های فوق، شبیه به یکی از توابع مشخص‌کننده یکی از برجسب‌ها خواهد بود.

در مرحله دوم، بسته به تابع مثلثی خروجی به‌دست‌آمده در مرحله قبل، با استفاده از سه فرمول زیر به هریک از انواع توابع به‌دست‌آمده، یک متغیر زبانی مرتبط الصاق می‌شود. برای مثال، در صورتی که متغیرهای زبانی سه‌تایی انتخاب شده باشند، فرمول‌های مورد نظر بدین شکل است:

$$\begin{aligned} \delta_1^I &= \textit{Weak} = [L_{inf}, L_{inf}, C_{inf}] \\ \delta_2^I &= \textit{Moderate} = [L_{inf}, C_{inf}, R_{inf}] \\ \delta_3^I &= \textit{Strong} = [C_{inf}, R_{inf}, R_{inf}] \end{aligned} \quad \text{فرمول (۳)}$$

(ویلاکورتا و دیگران، ۲۰۱۴، ص ۲۲-۲۴)

فرمول‌های (۳) بدین معنا هستند که اگر کران چپ و میانه یک عدد فازی با یکدیگر برابر باشد، به آن عدد فازی رشته «ضعیف» الصاق می‌شود، اگر کران راست و میانه با یکدیگر برابر باشند، به آن رشته «قوی» الصاق می‌شود و اگر کران چپ و راست و میانه با یکدیگر متفاوت باشند، رشته «متوسط» به عدد فازی ربط داده می‌شود. بدین ترتیب برجسب خروجی مربوط به تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هریک از متغیرها ساخته می‌شود.

در مرحله سوم و پایانی، با استفاده از مفهوم فاصله میان دو عدد فازی، اعداد فازی حاصل از جمع جبری و ستونی با اعداد مقایسه‌ای فوق مقایسه می‌شوند و هرکدام از اعداد که فاصله کمتری با عدد فازی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری داشته باشند، به‌عنوان برچسب نهایی انتخاب می‌شوند. در فرمول‌های (۴) این فرآیند مشخص شده است.

$$d(T_1, T_2) = \frac{(|a_1 - a_2| + 4|b_1 - b_2| + |c_1 - c_2|)}{6}$$

$$\delta_I^K \leftarrow \arg \min\{d(I_k, \delta_j)\}$$

فرمول‌های (۴): فازی‌زدایی و

اختصاص متغیرهای زبانی

(ویلاکورتا و دیگران، ۲۰۱۴،

ص ۲۴)

$$\delta_I^D \leftarrow \arg \min\{d(D, \delta_j)\}$$

فرمول محاسبه فاصله بین دو عدد فازی در بالا، همچون فرمول فازی‌زدایی است که پیش از این به آن اشاره شد؛ دو عدد فازی را به‌عنوان ورودی می‌گیرد و نتیجه یک عدد قطعی اسکالر است. به کمک این فرمول، مقدار اسکالر فاصله عدد فازی مقایسه‌ای در مرحله قبل با عدد فازی حاصل از جمع سطری و ستونی محاسبه می‌شود. دو فرمول بعدی می‌گویند که در میان برچسب‌های مختلف، آن برچسبی را که متناظر با کمترین مقدار فاصله میان عدد مقایسه‌ای و عدد فازی تأثیرات است، به‌عنوان برچسب نهایی انتخاب شود. بدین ترتیب، می‌توان برای مجموع اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم یک متغیر، برچسب زبانی اختصاص داد. (ویلاکورتا و دیگران، ۲۰۱۴، ص ۲۴)

می‌توان از قابلیت‌های منطق و ریاضیات فازی در همه روش‌های تحلیل ساختاری به شیوه اثرات متقابل استفاده کرد. پژوهش‌های مختلفی وجود دارند که به صورت مشخص از روش ارتقایافته میک‌مک برای تحلیل ساختاری استفاده کرده‌اند. (به عنوان نمونه: خوران، میشر، جین و سینگ، ۲۰۱۰؛ گوران و کانت^۱، ۲۰۱۳؛ فول، گالوس و توماس^۲، ۲۰۱۱؛ شهاب‌دکار و دیگران^۳، ۲۰۱۲؛ مانی، آگراوال و شارما^۴، ۲۰۱۵) در ادبیات تجربی از تحلیل ساختاری با عنوان «مدل‌سازی ساختاری تفسیری»^۵ و از میک‌مک فازی با عنوان «تحلیل میک‌مک فازی»^۶ نیز یاد می‌شود. درحالی‌که در روش دانشگاه گرانا از ساده‌ترین توابع عضویت فازی و ساده‌ترین فرمول‌های محاسباتی فازی‌سازی، فازی‌زدایی، رتبه‌بندی و الصاق برچسب استفاده می‌شود، بسته به مورد در بعضی از پژوهش‌ها به‌ویژه از توابع عضویت و فرمول‌های محاسباتی

1. Gorane & Kant

2. Pfol, Gallus & Thomas

3. Shahabadkar

4. Mani, Agrawal & Sharma

5. Interpretive Structural Modeling (ISM)

6. Fuzzy Micmac Analysis (FMA)

پیچیده‌تری نیز استفاده شده است. با وجود این، کلیت مراحل انجام تحلیل یکسان است. با مرور پژوهش‌های منتشرشده به زبان فارسی، به نظر می‌رسد که مقاله حاضر نخستین تحلیل ساختاری اثرات متقابل به روش میک‌مک فازی در ایران باشد. بر همین اساس به‌عنوان یک مطالعه موردی با هدف مقایسه‌ای، از داده‌های آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴ برای ارزیابی روش دانشگاه گرانادا به دلیل سهولت محاسباتی و قابلیت کاربرد نرم‌افزار استفاده شده است.

مطالعه موردی: آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴

گزارش «آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴» پژوهشی است که برای توصیف مسائل اصلی ایران در سال ۱۳۹۴ و تحلیل روابط متقابل میان آن‌ها صورت گرفته است. این پژوهش در گام نخست به این پرسش پاسخ داده که مسائل کلیدی ایران در سال آینده ۱۳۹۴ چه موضوعات و چالش‌هایی هستند. در گام بعد، در این پژوهش تأثیرات متقابل مسائل ایران بر یکدیگر نیز مطالعه شده است تا تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین مسائل شناسایی شود. برای رسیدن به این هدف از میان روش‌های مختلف تحلیل ساختاری، روش میک‌مک برگزیده شده است. این پژوهش با مشارکت جمعی از صاحب‌نظران و کارشناسان مختلف در قالب چهار مرحله: ۱. نظرسنجی عمومی برای شناسایی متغیرها؛ ۲. رتبه‌بندی متغیرها توسط کارشناسان برگزیده؛ ۳. برگزاری پنل خبرگان برای شناسایی اثرات متقابل متغیرها؛ و ۴. تحلیل‌های آماری و نرم‌افزاری ماتریس اثرات متقابل، انجام شده است. (آینده‌بان، ۱۳۹۴)

با توجه به روش‌شناسی فوق، در مرحله نخست به کمک نظرسنجی شهروندی فهرستی ۱۶۹ موردی از مسائل و موضوعات ایران تدارک دیده شد. در این مرحله هدف اصلی آینده‌پژوهی شهروندی و رسیدن به فهرستی جامع از مسائل مختلف در ۱۰ حوزه اصلی (بر مبنای مدل پویش محیطی آینده‌بان) بود. در مرحله دوم، مسائل و متغیرها به کمک تعدادی از کارشناسان امتیازدهی اولویت‌بندی شد تا ۱۰۰ مسئله اصلی ایران در سال ۱۳۹۴ شناسایی شود. برای شناسایی اثرات متقابل در مرحله سوم، ماتریس ۱۰۰*۱۰۰ تأثیرات متقابل با تشکیل پنل‌های خبرگان در روزهای پایانی سال ۱۳۹۳ تکمیل شد تا گردآوری داده‌های پژوهش به اتمام برسد. در مرحله بعد، با استفاده از روش میک‌مک، بخشی از یافته‌های تحلیلی نهایی آماده و در اختیار قرار گرفت. بر اساس الگوریتم معرفی‌شده توسط گوده، نتایج نهایی در قالب نقشه‌های اثرات متقابل، بدون استفاده از نرم‌افزار میک‌مک آماده شده است. (مولایی و طالبیان، ۱۳۹۵، صص ۲۳-۲۶)

استفاده از روش میک‌مک فازی بخش تکمیلی آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴ است. برای استفاده از روش میک‌مک فازی نخست همه کدهای اثرات متقابل در درایه‌های غیر صفر ماتریس اثرات متقابل به متغیرهای زبانی تبدیل شده است تا ماتریس زبانی اثرات متقابل ساخته شود. برای این کار، آرایه‌های ماتریس اثرات متقابل که بر اساس روش میک‌مک با اعداد $\{۲\ ۳\ ۴\}$

{۱} برای تأثیرات ضعیف، متوسط، قوی و احتمالی پر شده بودند، به کمک نرم‌افزار اکسل با مجموعه متغیرهای زبان‌شناختی (Weak, Moderate, Strong) جایگزین شدند تا ماتریس جدید دارای متغیرهای زبانی به جای مقادیر عددی تشکیل شود. با توجه به آنکه در روش سنتی میک مک، درایه‌های دارای کد ۴ یا احتمال برای سنجش تأثیرات احتمالی دوباره به یکی از کدهای تأثیرات ضعیف، متوسط یا شدید تبدیل می‌شوند، در این روش نیز با فرض وقوع تأثیرات احتمالی شدید، درایه‌های تأثیرهای احتمالی نیز دارای تأثیر شدید فرض شده است. پس از این، متغیرهای زبانی به اعداد فازی تبدیل شده و جمع سطری و ستونی اعداد فازی برای محاسبه تأثیرات مستقیم و ضرب ماتریسی اعداد فازی برای محاسبه تأثیرات غیرمستقیم صورت گرفته است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار افال میک مک استفاده شده است. این نرم‌افزار همه مراحل انجام محاسبات فازی را در قالب یک بسته نرم‌افزاری انجام می‌دهد و در پایان داده‌های آماری و نمودارهای بصری مرتبط را ارائه می‌کند.

یافته‌های فازی و مقایسه با روش میک مک

هدف اصلی در این مقاله توصیف مهم‌ترین مسائل ایران و شناسایی و تحلیل اثرگذارترین و اثرپذیرترین مسائل ایران نیست. همچنین بحث درباره وضعیت سیستم و ارائه متغیرهای اعتماد، پیشران، مستقل و وابسته در جای دیگری ارائه شده است. (مولایی و طالبیان، ۱۳۹۵، صص ۲۶-۲۹) با توجه به آنکه نتایج جمع سطری و ستونی اعداد فازی در نهایت به عددی قطعی تبدیل می‌شود، هر دو روش می‌توانند رتبه اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر متغیر را به‌عنوان خروجی ارائه دهند؛ بنابراین، رتبه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هریک از متغیرها قابل مقایسه به دو روش فازی و قطعی است. همان‌گونه که گفتیم، روش فازی به دلیل در نظر گرفتن ابهام‌ها و عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در متغیرهای زبانی (متغیرهای کیفی) در مقایسه با روش میک مک سنتی دقت بالاتری دارد. مقایسه رتبه تأثیرگذاری و تأثیرپذیری یک متغیر در هریک از این دو روش، یکی از موارد مشاهده این موضوع است. در جداول (۶)، (۷)، (۸) و (۹) مقایسه میان رتبه‌های اثرگذاری و اثرپذیری برای متغیرهای دارای رتبه بالا، متوسط و پایین، دقت بیشتر استفاده از روش فازی را نشان می‌دهد.

جدول (۶): مقایسه مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار مستقیم به روش قطعی و فازی

شماره متغیر	برجسب متغیر	مقدار قطعی	رتبه قطعی	رتبه فازی	برجسب فازی
۱	پرونده هسته‌ای	۱۳۳	۱	۱	قوی
۴	قیمت نفت	۱۲۷	۲	۲	متوسط
۳۵	منازعات سیاسی	۹۱	۳	۳	متوسط
۷	انتخابات مجلس	۸۸	۴	۴	متوسط
۲۲	سرمایه اجتماعی	۸۶	۵	۵	متوسط
...
۲	نرخ رشد سرطان	۳۸	۵۰	۴۸	ضعیف
۶۱	چالش دولت و نمایندگان	۳۸	۵۱	۵۲	ضعیف

منابع زیرزمینی آبی	۳۷	۵۲	۵۴	ضعیف	۵
نقش نیروهای مسلح در امنیت منطقه	۳۷	۵۳	۵۶	ضعیف	۶۹
باور مردم به مسئولان حکومتی	۳۷	۵۴	۵۳	ضعیف	۷۷
...
سوء تغذیه	۱۵	۹۶	۹۶	ضعیف	۴۶
صنعت اتومبیل	۱۴	۹۷	۹۷	ضعیف	۴۷
سرقت علمی	۱۰	۹۸	۹۸	ضعیف	۱۰۰
جمعیت	۳	۹۹	۹۹	ضعیف	۴۸
رابطه ایران و چین	۰	۱۰۰	۱۰۰	ضعیف	۷۵

جدول (۷): مقایسه مهم‌ترین متغیرهای تأثیرپذیر مستقیم به روش قطعی و فازی

شماره متغیر	برجسب متغیر	مقدار قطعی	رتبه قطعی	رتبه فازی	برجسب فازی
۲۲	سرمایه اجتماعی	۱۴۸	۱	۱	قوی
۱۶	افکار عمومی	۱۳۸	۲	۲	قوی
۳۵	منازعات سیاسی	۱۰۶	۳	۳	متوسط
۱۰	سرخوردگی جوانان	۱۰۵	۴	۴	متوسط
۷	انتخابات مجلس	۱۰۴	۵	۵	متوسط
...
۳۱	قدرت خرید عمومی	۳۳	۵۰	۴۹	ضعیف
۴۹	ائتلاف کشورهای منطقه علیه ایران	۳۳	۵۱	۵۳	ضعیف
۶۲	نقش نیروهای مسلح در امنیت منطقه	۳۳	۵۲	۵۵	ضعیف
۳۲	تخریب جنگل‌ها و مراتع	۳۲	۵۳	۴۸	ضعیف
۹۰	بحران بانک‌ها و مؤسسات اعتباری	۳۲	۵۴	۵۵	ضعیف
...
۳۳	وضعیت زنان	۱۶	۹۶	۹۶	ضعیف
۴۳	خشک‌سالی	۱۵	۹۷	۹۷	ضعیف
۹	آلودگی هوا	۱۵	۹۸	۹۸	ضعیف
۸	مشکلات پژوهش	۱۴	۹۹	۹۹	ضعیف
۹۷	تخریب جنگل‌ها	۱۱	۱۰۰	۱۰۰	ضعیف

جدول (۸): مقایسه مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار غیرمستقیم به روش میک‌مک قطعی و فازی

شماره متغیر	برجسب متغیر	مقدار قطعی (۱۰۰)	رتبه قطعی	رتبه فازی	برجسب فازی
۱	پرونده هسته‌ای	۲/۴۴	۱	۱	قوی
۴	قیمت نفت	۲/۲۵	۲	۲	قوی
۳۵	منازعات سیاسی	۱/۶۹	۳	۳	متوسط
۶	داعش	۱/۶۷	۴	۴	متوسط
۱۲	مذاکره با امریکا	۱/۵۵	۵	۵	متوسط
...
۸۷	تحریم‌های مربوط به مسائل غیرهسته‌ای	۶/۳۹	۵۰	۵۳	متوسط
۳۱	تأمین آب جهت مصارف کشاورزی و صنعتی	۶/۳۷	۵۱	۴۹	متوسط
۵۶	شکاف اقتصادی بین دهک اول و آخر	۶/۱۹	۵۲	۴۸	متوسط

متوسط	۵۵	۵۳	۶/۱۲	فربه‌شدن فرهنگ زیرزمینی	۴۵
متوسط	۵۲	۵۴	۶/۰۵	بیماری‌های ناشی از آلودگی	۹
...	(۱۰ ^{۱۹})
ضعیف	۹۶	۹۶	۱/۷۹	بیماری قلبی	۲۶
ضعیف	۹۷	۹۷	۱/۶۲	سوء تغذیه	۸۳
ضعیف	۹۸	۹۸	۱/۴۸	سرقت علمی	۴۸
ضعیف	۹۹	۹۹	۱/۳۹	جمعیت	۱۰۰
ضعیف	۱۰۰	۱۰۰	۵/۲۷	رابطه ایران و چین	۲۷

جدول (۹): مقایسه مهم‌ترین متغیرهای تأثیرپذیر غیرمستقیم به روش میک مک قطعی و فازی

شماره متغیر	برجسب متغیر	مقدار (۱۰ ^{۲۰})	رتبه قطعی	رتبه فازی	برجسب فازی
۲۲	سرمایه اجتماعی	۲,۶۹	۱	۱	متوسط
۱۶	افکار عمومی	۲,۰۸	۲	۲	متوسط
۱۰	سرخوردگی جوانان	۱۰۸۴	۳	۳	متوسط
۷۷	اعتماد	۱۰۸۴	۴	۴	متوسط
۳۹	اخلاق	۱,۸۰	۵	۶	متوسط
...
۷۴	جریان‌های رسانه‌ای مستقل	۵/۹۴	۵۰	۴۹	ضعیف
۷۲	تضاد منافع واردکنندگان و تولیدکنندگان	۵/۸۳	۵۱	۵۲	ضعیف
۴۸	سرقت علمی	۵/۸۳	۵۲	۵۴	ضعیف
۴۷	واردات محصولات چینی	۵/۶۶	۵۳	۵۱	ضعیف
۲۷	انتخابات مجلس خبرگان رهبری	۵۴/۳۸	۵۴	۵۵	ضعیف
...	...	(۱۰ ^{۱۹})
۳۰	آب کشاورزی	۱/۲۴	۹۶	۹۶	ضعیف
۴۱	بیابان‌زایی	۱/۱۰	۹۷	۹۷	ضعیف
۴۰	آلودگی آب	۱/۰۴	۹۸	۹۸	ضعیف
۸	خشک‌سالی	۱/۰۳	۹۹	۹۹	ضعیف
۳۳	تخریب جنگل‌ها	۸/۶۷(۱۰ ^{۱۸})	۱۰۰	۱۰۰	ضعیف

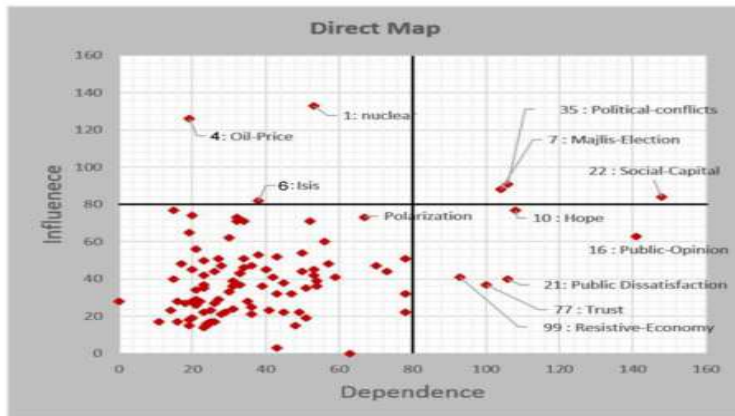
همان‌گونه که در جداول (۶)، (۷)، (۸) و (۹) قابل مشاهده است، مهم‌ترین تفاوت نتایج حاصل از روش میک مک فازی انتخاب برجسب‌های زبانی برای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هریک از متغیرهاست که به روش الصاق برجسب‌ها در بخش قبل اشاره شد. علاوه بر این، همان‌گونه که در جداول بالا قابل مشاهده است، در رتبه اثرات بعضی از متغیرها تفاوت وجود دارد. برای مثال، در جدول اثرگذاری مستقیم رتبه دو متغیر سرمایه اجتماعی و قطبی‌شدن جامعه جابه‌جا شده است یا در جدول اثرپذیری مستقیم میان رتبه ۵ و ۶ در روش میک مک و میک مک فازی تفاوت وجود دارد. تفاوت‌های اندک موجود در جدول‌های (۶)، (۷)، (۸) و (۹) نشان می‌دهد که از طرفی روش میک مک فازی از اعتبار و قابلیت اعتماد کافی برخوردار است و از طرف دیگر، به نظر می‌رسد که دقت این روش به‌ویژه در محاسبه رتبه متغیرهای میانی ماتریس اثرات متقابل بیشتر است.

یافته‌های حاصل از دو روش میک‌مک و میک‌مک فازی شبیه به یکدیگر است، اما روش دوم دقیق‌تر است، زیرا به کمک منطق فازی، عدم قطعیت بیشتری در محاسبات در نظر گرفته شده است. این موضوع را با توجه به مثال فرضی در جدول (۳) می‌توان تشریح کرد. در این جدول جمع سطری اثرگذاری مستقیم که با استفاده از قانون جمع اعداد فازی به دست آمده است، نشان می‌دهد که مقدار میانه تابع مثلثی نهایی، با اختلاف اندک تقریباً برابر با عدد حقیقی متناظر در مرحله فازی‌زدایی است. این مقدار تقریباً برابر با مقداری است که از روش میک‌مک به دست می‌آید. برای مثال، در سطر یک جدول (۱) اگر به جای متغیرهای زبانی از کدهای پیشنهادی گوده استفاده شود، مقدار ۵ به دست می‌آید که تقریباً برابر با میانه و مقدار نافازی شده به کمک روش میک‌مک فازی است، اما با مقایسه سطر دوم و سوم مشاهده می‌شود که مقدار میانه هر دو متغیر برابر با ۶ است، اما به دلیل آنکه کران راست متغیر سطر اول، بیشتر از متغیر سطر دوم است، رتبه و عدد حقیقی متناظر با این متغیر مقدار بیشتری محاسبه شده است. به عبارت دیگر، با الگوریتم واقعی در روش میک‌مک، این دو متغیر هر دو دارای مقدار تأثیرگذاری واقعی ۶ و رتبه ۳ خواهند بود، اما روش میک‌مک فازی قادر است میان رتبه این دو متغیر تمایز قائل شود؛ بنابراین، به دلیل آنکه دامنه تأثیرگذاری (فاصله کران چپ تا راست عدد فازی متناظر) متغیر سطر اول بیشتر از متغیر سطر دوم است، این متغیر قابلیت یا امکان تأثیرگذاری بیشتری دارد.

فازی‌سازی متغیرها علاوه بر بالا بردن دقت نتایج نهایی، امکان در نظر گرفتن ابهام‌هایی که کارشناسان درباره تأثیر واقعی متغیرها دارند و نیز امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها را با استفاده از تعریف توابع عضویت فازی فراهم می‌کند. با وجود این، همان‌گونه که در جداول (۶)، (۷)، (۸) و (۹) مشاهده می‌شود، تفاوتی میان متغیرهای دارای رتبه‌های بسیار بالا و بسیار پایین وجود ندارد. به عبارت دیگر، صدر و ذیل فهرست رتبه‌بندی شده متغیرها در دو روش کاملاً شبیه به یکدیگر است. به لحاظ منطق فازی، فاصله میان کران چپ و راست توابع فازی در متغیرهای دارای رتبه بالا عددی بزرگ و در متغیرهای دارای رتبه پایین عددی کوچک است. این موضوع نشان می‌دهد که در دامنه‌های با فواصل بالا عمده عدم قطعیت‌ها در نظر گرفته شده است در دامنه‌های با فواصل کم، عدم قطعیت‌های چندانی وجود ندارد. به همین دلیل، رتبه‌های این دو دسته از متغیرها در هر دو روش مشابه با یکدیگر محاسبه می‌شود.

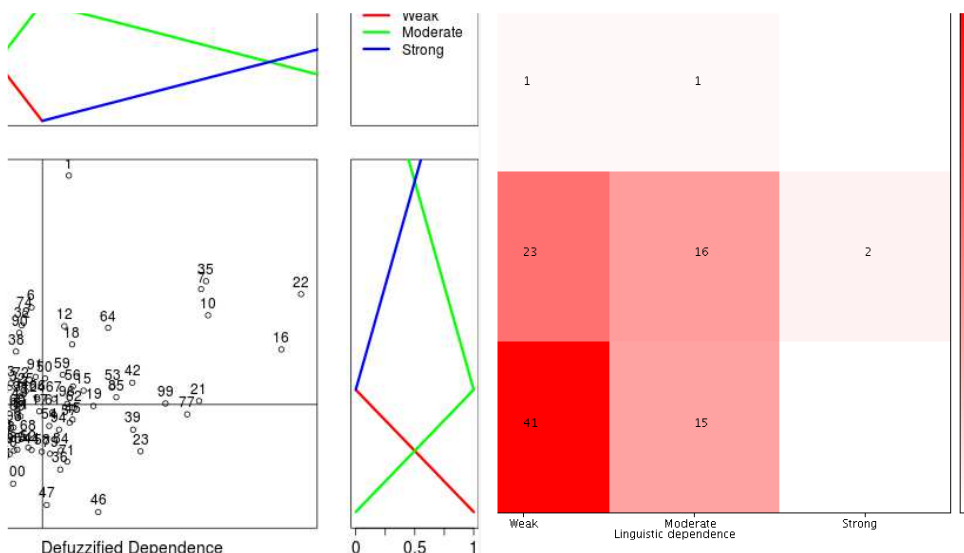
در روش میک‌مک، علاوه بر شبکه‌های تأثیرات متقابل، نقشه‌های دوبعدی اثرات مستقیم و غیرمستقیم نیز قابل استخراج است. روش کار به این صورت است که بر اساس دو مقدار، تأثیرگذاری (محور افقی) و تأثیرپذیری (محور عمودی) هر یک از متغیرها بر روی محور دوبعدی جایابی می‌شود. بدین ترتیب، متغیرهایی که دارای تأثیرگذاری و وابستگی زیاد هستند

به راحتی بر روی نقشه قابل جایابی خواهد بود. در نمودار (۲)، نمونه‌ای از این دو نوع گراف آمده است.

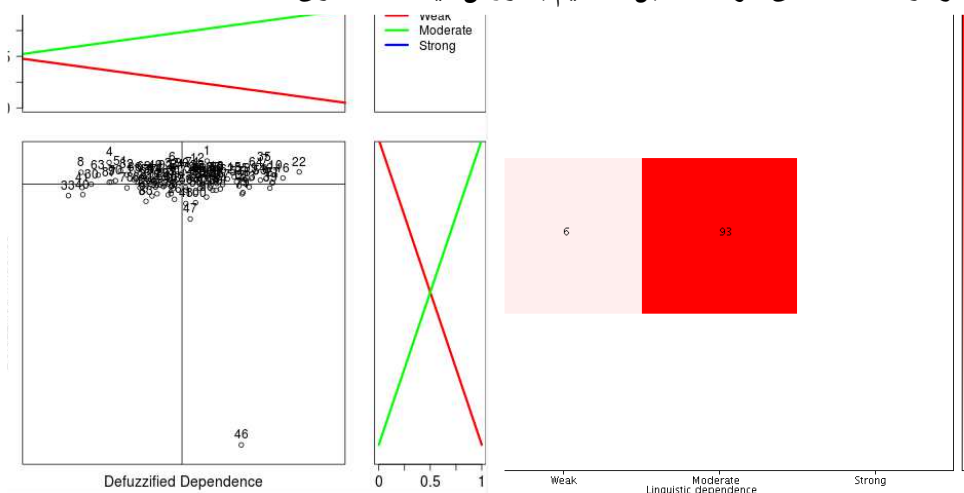


نمودار ۲: نقشه اثرات مستقیم آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴

همان‌گونه که از نمودار (۲) قابل مشاهده است، نقشه‌های اثرات مستقیم و غیرمستقیم سه مشکل اساسی دارند. نخست، محور افقی و عمودی (تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (وابستگی) محورهای اعداد حقیقی هستند و متغیرها بر اساس مقدار حقیقی خود بر روی این دو محور جایابی شده‌اند، اما در واقع اهمیت این مقادیر حقیقی در موقعیت نسبی آن‌ها نسبت به یکدیگر است. (بر اساس رتبه) برای مثال، متغیر «وضعیت پرونده هسته‌ای» و «قیمت نفت» هر دو از جمله متغیرهای تأثیرگذار در این پژوهش هستند، اما جایگاه نسبی آن‌ها به نسبت یکدیگر به راحتی قابل تشخیص نیست. دوم، روشی برای افراز قسمت‌های مختلف دو محور افقی و عمودی وجود ندارد. در روش میک مک تنها میانه دو محور عمودی و افقی برای تقسیم متغیرها در نظر گرفته شده است. برای مثال، متغیرهایی که میزان تأثیرگذاری آن‌ها از نصف بزرگ‌ترین مقدار تأثیرگذاری (تأثیرگذارترین متغیر) بیشتر باشد، تأثیرگذار در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه، معیاری برای دسته‌بندی متغیرها بر اساس معیارهای دیگر (برای مثال، متغیرهای دارای تأثیر متوسط یا ضعیف) وجود ندارد. سوم، هنگامی که تعداد متغیرها زیاد می‌شود، به‌ویژه در ناحیه سمت چپ پایین نمودار که در آن تعداد متغیرهای دارای تأثیر و وابستگی نسبی کم، زیاد هستند، در عمل امکان تفسیر نمودار وجود ندارد. در روش گوده، متغیرهای این ناحیه متغیرهای قابل‌صرف‌نظر کردن تلقی می‌شوند، اما به‌ویژه متغیرهایی که روی خطوط افقی و عمودی میانه نمودار قرار می‌گیرند، اهمیت دارند. (آرکید، گودت و دیگران، ۱۹۹۹، ص ۱۷-۱۹) نقشه‌های اثرات متقابل به کمک روش میک مک فازی این مشکلات را تا حدودی کاهش داده است. در دو نمودار (۳) و (۴)، نتایج مربوط به «آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴» با استفاده از ابزارهای مصورسازی میک مک فازی آمده است.



نمودار ۲: نقشه‌های اثرات متقابل مستقیم به روش میک‌مک فازی



نمودار ۴: نقشه‌های اثرات متقابل غیرمستقیم به روش میک‌مک فازی

نمودارهای (۳) و (۴) اصلی‌ترین نقشه‌هایی است که برای ارائه یافته‌های میک‌مک فازی توسط طراحان این روش پیشنهاد شده است. نمودار سمت چپ «نقشه حرارت نتایج زبانی» نام‌گذاری شده است. این نقشه نخست، محور افقی تأثیرپذیری (وابستگی) و محور عمودی تأثیرگذاری را بر اساس منطق فازی به چندین برچسب زبانی ترتیبی افزار می‌کند. در نمودار فوق، با انتخاب سه رشته زبانی {ضعیف، متوسط و قوی} سطح نمودار به ۹ قسمت مساوی تقسیم شده است. در ادامه، نرم‌افزار متغیرهایی را جست‌وجو می‌کند که برچسب‌های زبانی تعریف شده برای آن‌ها، ترکیبی از شرایط زبانی تعریف شده را داشته باشند. برای مثال، تأثیرپذیری ضعیف و تأثیرگذاری

قوی داشته باشند. در نمودار نهایی تعداد هر یک از متغیرهای دارای شرایط در هر خانه از نمودار گزارش می‌شود. برای مثال، با توجه به نمودار فوق می‌توان به راحتی نتیجه گرفت که تنها دو متغیر وجود دارد که تأثیرپذیری بیشتری از متغیرهای دیگر دارد، اما تأثیرگذاری در سطح متوسطی بر متغیرهای دیگر دارد. به عبارت دیگر، متغیرهای اعتماد دارای اهمیت تنها دو متغیر است. این نمودار هم برای نقشه‌های اثرات مستقیم و هم برای نقشه‌های اثرات غیرمستقیم قابل استخراج است.

برخلاف نمودارهای سمت راست در نمودار (۳) و (۴) که رفتار کلی سیستم را با کمترین جزئیات در اختیار قرار می‌دهد، در نمودارهای سمت چپ از ترکیب نقشه‌های اثرات به روش میک‌مک سنتی و فازی برای ساخت نمودار استفاده شده است و اطلاعات دقیق‌تری قابل استخراج است. در این روش تک‌تک متغیرها بر اساس مقدار عدد حقیقی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری که پس از مرحله فازی‌زدایی توابع مثلثی به دست آمده است، بر روی نقشه جایابی می‌شوند. سپس با افراز محورهای افقی و عمودی با توابع مثلثی متناظر با «متغیرهای زبانی تعریف شده»، امکان تفسیرهای زبانی نیز فراهم می‌شود. برای مثال، در نمودار (۴) سمت چپ، محور افقی و عمودی به سه متغیر زبانی تقسیم شده است و توابع مثلثی متناظر با محور افقی و عمودی در کنار آن نمایش داده شده است. حال می‌توان متغیر ۱ و ۴ در گوشه سمت چپ بالای نمودار را با یکدیگر مقایسه کرد. نخست می‌توان گفت که بر اساس تابع عضویت قوی (خط آبی)، تأثیرپذیری متغیر ۲ کم است، اما تأثیرگذاری آن زیاد است. (خط سبز سمت راست) به همین شکل تأثیرگذاری متغیر ۱ زیاد و تأثیرپذیری آن کم است. به این نمودار، نقشه اثرات زبانی با اطلاعات خالص^۱ گفته می‌شود، زیرا هم‌زمان می‌توان متغیرها را با یکدیگر مقایسه کرد و نیز قدرت تأثیرات را با استفاده از برچسب‌های زبانی تشخیص داد.

با کمک نمودارهای فوق، سیاست‌گذاران با یک نگاه کلی می‌توانند خصوصیات اصلی سیستم را تشخیص دهند و درباره پایداری یا ناپایداری آن قضاوت کنند. برای مثال، به راحتی بر اساس نقشه حرارت می‌توان گفت که تأثیرات مستقیم بیش از ۹۶ درصد از متغیرها در سطح ضعیف و متوسط است و تنها ۴ متغیر نیاز به توجه جدی دارد. به کمک نمودار خالص نیز سیاست‌گذاران می‌توانند به تحلیل دقیق‌تر رفتار سیستم بپردازند. برای مثال، متغیرهای اعتماد (گوشه سمت راست بالا) را مشخص کنند. همچنین به دلیل آنکه بر اساس مقادیر غیر فازی، جایگاه دقیق هر یک از متغیرها بر روی نقشه آمده است، سیاست‌گذاران می‌توانند متغیرها را با یکدیگر مقایسه کنند و در نهایت، بر اساس متغیرهای زبانی محورهای مختصات، تشخیص دهند که هر یک از متغیرهای اعتماد در سطح متوسط و کدامیک در سطح قوی قرار دارند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله نخست به روش‌های مختلف تحلیل ساختاری اشاره گردید و روش میک‌مک به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل اثرات متقابل به‌طور مختصر معرفی شد. در ادامه، روش انجام روش میک‌مک فازی معرفی شد. روش میک‌مک فازی با استفاده از اعداد فازی و اعمال محاسباتی مرتبط با آن، این امکان را برای کارشناسان شرکت‌کننده در طرح‌های آینده‌پژوهی فراهم می‌کند که در مرحله ورود داده‌ها به جای استفاده از کدهای ریاضی، با استفاده از متغیرهای زبانی ترتیب‌دار، درایه‌های ماتریس اثرات متقابل را تکمیل کنند. استفاده از متغیرهای زبانی در مرحله ورود داده‌ها در این روش جدید سبب می‌شود که:

۱. خبرگان و کارشناسان با آزادی و دقت بیشتر و به صورت کیفی تأثیرات متقابل متغیرها بر یکدیگر را شناسایی کنند. هر دو روش، ارتباطی با روش گردآوری داده‌ها ندارند (برای مثال، گردآوری داده به کمک کارشناسان منفرد یا از طریق برگزاری پنل‌های خبرگان)، اما بر اساس تجربه کار میدانی پژوهش‌گران این پژوهش، به نظر می‌رسد که استفاده از برجسب‌های زبانی، فرآیند تکمیل ماتریس اثرات متقابل را تسهیل می‌کند.

۲. به دلیل آنکه یافته‌های نهایی با «متغیرهای زبانی» خالص بیان می‌شوند، این روش در مقایسه با روش میک‌مک نتایج قابل تفسیرتری ارائه می‌کند.

۳. درحالی‌که نتایج هر دو روش تا حدود زیادی مشابه است، اما به دلیل استفاده از اعداد فازی، این روش در رتبه‌بندی متغیرها از دقت بیشتری برخوردار است. به دلیل آنکه رتبه‌بندی نقش اساسی را در انتخاب متغیرهای اصلی برای سناریوسازی دارد، انتخاب مناسب‌ترین متغیرها برای سیستم بر اساس رتبه آن‌ها اهمیت اساسی دارد. باوجوداین، اهمیت اصلی میک‌مک فازی در این زمینه مربوط به رتبه‌بندی متغیرهایی است که تأثیرات متوسطی دارند.

۴. به دلیل استفاده از منطق فازی، دامنه‌ای از ابهام و عدم قطعیت ناشی از قضاوت کارشناسان، به‌طور پیش‌فرض در مرحله گردآوری داده‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۵. روش‌های جدید طراحی‌شده برای ارائه نقشه‌های اثرات در این روش از طرفی به سهولت بیشتر تصمیم‌گیری درباره مشخصات یک سیستم منجر شده‌اند و از طرف دیگر، امکان استفاده از برجسب‌های زبانی بر روی نقشه‌های اثرات را فراهم کرده‌اند که این موضوع تفسیرپذیری نقشه‌ها را تا حدود زیادی افزایش می‌دهد.

در این مقاله به‌عنوان یک مطالعه موردی واقعی، داده‌های مربوط به گزارش «آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴» با این روش جدید، تحلیل و بخشی از نتایج آن ارائه شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که:

۱. هنگامی که ابهام در داده‌های ورودی اندک است (هنگام مقایسه متغیرهای دارای رتبه‌های اول و نیز متغیرهای دارای کمترین رتبه) و کارشناسان دقت کافی و قضاوت روشنی درباره اثرات

متقابل میان متغیرها دارند، نتایج تحلیل ساختاری به روش میک مک و میک مک فازی با یکدیگر کاملاً مشابه است.

۲. بر اساس تجربه، در صورتی که دانش پیشین درباره اصول ریاضیات فازی وجود نداشته باشد، استفاده و تفسیر نتایج حاصل از این روش پیچیدگی زیادی دارد و ممکن است سبب واکنش منفی سیاست‌گذاران به هنگام ارائه نتایج شود.

در پایان لازم است اشاره کنیم که در این روش، سه مسئله حل‌نشده کماکان باقی مانده است. نخست، آنکه با استفاده از روش فازی، برچسب‌های مربوط به تأثیرات غیرمستقیم به سمت متغیرهای میانی میل می‌کنند. (برای مثال، در تقسیم‌بندی ۵ تایی اکثر برچسب‌های زبانی متغیرها به سمت برچسب متوسط میل می‌کند) بنابراین، به نظر می‌رسد که الگوریتم‌های بازترجمه نتایج به متغیرهای زبانی، همچنان نیازمند توجه و بازنگری باشند. دوم، آنکه یکی از قابلیت‌های میک مک سنتی آن است که می‌توان اثرات احتمالی (یعنی اثراتی که اکنون وجود ندارد، اما ممکن است با شدت‌های مختلفی در آینده پدیدار شوند) را مطالعه کرد. در روش میک مک فازی هنوز به این موضوع پرداخته نشده است. سوم، آنکه روش میک مک بخشی از مراحل چندگانه آینده‌نگاری راهبردی است؛ بنابراین، در بخش‌های دیگر نیز لازم است که ادبیات فازی وارد شود تا بتوان به‌طور کامل از مزایای این روش استفاده کرد.

کتاب‌نامه

الف- کتاب

۱. مولایی، محمدمهدی؛ طالبیان، حامد، (۱۳۹۵ الف)، «آینده‌پژوهی مسائل ایران سال ۱۳۹۳ با روش تحلیل اثرات متقابل»، در مولایی و طالبیان (پدیدآورندگان)، مجموعه مقالات آینده‌پژوهی ایران (صص ۱۲۷-۱۵۸)، تهران، پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات.

۲. طالبیان، حامد؛ مولایی، محمدمهدی؛ قراری، فریما، (۱۳۹۵)، «کاربرد روش تحلیل اثرات متقابل فازی در مطالعات آینده‌نگر در آینده‌پژوهی ایران»، در مولایی و طالبیان (پدیدآورندگان)، مجموعه مقالات آینده‌پژوهی ایران (صص ۱۶-۵۰)، تهران، پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات.

۳. طالبیان، حامد؛ مولایی، محمدمهدی، (۱۳۹۵)، «تحلیل شبکه مسائل ایران در سال ۱۳۹۴ با رویکرد آینده‌پژوهی»، در مولایی و طالبیان (پدیدآورندگان)، مجموعه مقالات آینده‌پژوهی ایران (صص ۵۱-۹۰)، تهران، پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات.

ب- مقالات

۴. بزاز زاده، مهدی؛ داداش‌پور، هاشم؛ مطوف، شریف، (۱۳۹۳)، «بررسی و تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه منطقه‌ای با رویکرد آینده‌نگاری منطقه‌ای، مطالعه موردی: استان

آذربایجان غربی، ایران»، مجله علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، اصفهان، دانشگاه اصفهان، شماره ۱۳، صص ۷۹-۱۰۴.

۵. بهشتی، محمدباقر؛ زالی، نادر، (۱۳۹۰)، «شناسایی عوامل کلیدی توسعه منطقه‌ای با رویکرد برنامه‌ریزی بر پایه سناریو: مطالعه موردی استان آذربایجان شرقی»، مدرس علوم انسانی-برنامه‌ریزی و آمایش فضا، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۴۱-۶۳.

۶. تقی‌لو، علی‌اکبر، (۱۳۹۳)، «سناریوهای آینده سکونت‌گاه‌های روستایی ایران»، پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۵، صص ۸۳-۹۶.

۷. تقی، فاطمه؛ علی‌احمدی، علیرضا؛ قاضی‌نوری، سیدسپهر؛ حورعلی، منصوره، (۱۳۹۳)، «طراحی و پیاده‌سازی مدل مرجع پس‌نگری برای شناسایی عوامل کلیدی موفقیت CSF خدمات دولت الکترونیکی در ایران»، مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، تهران، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری، شماره ۱۴، صص ۲۰۵-۲۴۰.

۸. مولایی، محمد مهدی؛ طالبیان، حامد، (۱۳۹۵ب)، «آینده‌پژوهی مسائل ایران با روش تحلیل ساختاری»، مجلس و راهبرد، تهران، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شماره ۸۶، صص ۵-۳۲.

۹. مولایی، محمد مهدی، (۱۳۹۳)، «مقایسه الگوهای سازمان‌دهی روش‌ها و تکنیک‌های آینده‌پژوهی»، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس آینده‌پژوهی، مدیریت و توسعه، تهران، مرکز توسعه آموزش‌های نوین ایران (متانا)، قابل‌بازیابی از: http://www.civilica.com/paper-FIMD01-FIMD01_280.htm

۱۰. مولایی، محمد مهدی؛ طالبیان، حامد، نوری، حسین؛ خرمی، امین، (۱۳۹۵)، «آینده‌پژوهی متغیرهای روابط بین‌الملل ایران در سال ۱۳۹۵: کاربردی از تحلیل ساختاری با نرم‌افزار میکمک در چارچوب آینده‌نگاری راهبردی»، سومین همایش بین‌المللی نظام بین‌الملل: تحولات منطقه‌ای و سیاست خارجی جمهوری اسلامی ایران، تهران، دانشگاه علامه طباطبایی، ۱ و ۲ آذرماه ۱۳۹۵، قابل‌بازیابی از: <http://irfp.atu.ac.ir/paper?manu=8525>

۱۱. عبوضی، محمدرحیم؛ کیقبادی، علیرضا، (۱۳۹۱)، «تبیین قلمرو راهبرد، مأموریت، رسالت، هدف و چشم‌انداز در آینده‌نگاری راهبردی»، مطالعات آینده‌پژوهی، بابل، سازمان بسیج اساتید مازندران، شماره ۳، صص ۱۳۳-۱۶۰.

ج- اینترنتی

۱۲. بی‌نا، (۱۳۹۴)، «آینده‌پژوهی ایران ۱۳۹۴»، بازیابی شده در ۱۳۹۴/۰۷/۲۶ از: <http://www.avandeban.ir/iran1394>

د- لاتین

13. Arcade, J., Godet, M., Meunier, F., & Roubelat, F. (1999). Structural analysis with the MICMAC method & Actor's strategy with MACTOR

method. *Futures Research Methodology Version 3.0, American Council for the United Nations University: The Millennium Project.*

14. Braziel, R. (2006). Impact of Homeland Security Communities of Learning: Developing a Strategy for Training and Collaboration, Ph.D. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

15. Chander, M.; Jain, S. K.; Shankar, R. (2013). Modeling of information security management parameters in Indian organizations using ISM and MICMAC approach. *Journal of Modelling in Management*. 8(2): 171-189.

16. Conway, M., & Futures, T. (2006). An Overview of Foresight Methodologies. *Sydney, Thinking Futures.*

17. Dubey, R.; Singh, T.i (2015). Understanding complex relationship among JIT, lean behaviour, TQM and their antecedents using interpretive structural modelling and fuzzy MICMAC analysis. *The TQM Journal*. Vol. 27(1): 42-62

18. Godet, M. (1994). From anticipation to action: a handbook of strategic prospective. UNESCO Publishing.

19. Godet, M. (2000). The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. *Technological forecasting and social change*. 65(1): 3-22.

20. Godet, M. (2008). Strategic Foresight La Prospective. *Cahiers du LIPSOR, Paris.*

21. Godet, M.; Durance, P. (2011). Strategic Foresight for Corporate and Regional Development. UNOD - UNESCO - Fondation Prospective et Innovation

22. Gorane, S. J., & Kant, R. (2013). Supply chain management: modelling the enablers using ISM and fuzzy MICMAC approach. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 16(2): 147-166.

23. Gorane, S.J.; Kant, R. (2013). Modelling the SCM enablers: an integrated ISM-fuzzy MICMAC approach. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. 25(2): 263-286.

24. Gordon, T. J. (2012). Cross-Impact Analysis, in *Futures Research Methodology Version 3.0, American Council for the United Nations University: The Millennium Project.*

25. Heger, T.; Rohrbeck, R. (2012). Strategic foresight for collaborative exploration of new business fields. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(5): 819-831.
26. KHURANA, M K.; MISHRAa, P.K.; JAINb, RAJEEV; SINGHa, A.R. (2010). Modeling of Information Sharing Enablers for building Trust in Indian Manufacturing Industry: An Integrated ISM and Fuzzy MICMAC Approach. *International Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 2(6): 1651-1669
27. Khurana, M. K., Mishra, P. K., Jain, R. A. J. E. E. V., & Singh, A. R. (2010). Modeling of information sharing enablers for building trust in Indian manufacturing industry: an integrated ISM and fuzzy MICMAC approach. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(6): 1651-1669.
28. Mani, V., Agrawal, R., & Sharma, V. (2015). Impediments to social sustainability adoption in the supply chain: An ISM and MICMAC analysis in Indian manufacturing industries. *Global Journal of Flexible Systems Management*. 17(2): 1-22.
29. Pfohl, H. C., Gallus, P., & Thomas, D. (2011). Interpretive structural modeling of supply chain risks. *International Journal of physical distribution & logistics management*, 41(9): 839-859.
30. Rohrbeck, R., Arnold, H. M., & Heuer, J. (2007). Strategic Foresight in multinational enterprises—a case study on the Deutsche Telekom Laboratories.
31. Sahoo, Tapan; Banwet, D.K.; Momaya, K. (2011). Developing a Conceptual Framework for Strategic Technology Management Using ISM and MICMAC Methodology: A Case of Automotive Industry in India. *Global Business Review*. 12(1): 117–143.
32. Shahabadkar, P. (2012). Deployment of Interpretive Structural Modelling Methodology in Supply Chain Management—An overview. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 23(3): 195-205.
33. Slaughter, R. A. (1997). Developing and applying strategic foresight. *ABN Report*, 5(10): 13-27.
34. Torres, Nathalia.; Olaya, Camilo. (2010). Tackling the Mess: System Conceptualization through Cross-Impact Analysis, SystemsModelbook.

35. Villacorta, P. J., Masegosa, A. D., Castellanos, D., & Lamata, M. T. (2012). A linguistic approach to structural analysis in prospective studies. In *Advances on Computational Intelligence* (pp. 150-159). Springer Berlin Heidelberg.
36. Villacorta, P. J., Masegosa, A. D., Castellanos, D., & Lamata, M. T. (2014). A new fuzzy linguistic approach to qualitative Cross Impact Analysis. *Applied Soft Computing*. 24: 19-30.
37. Voros, J. (2003). A generic foresight process framework. *Foresight*. 5(3): 10-21.
38. Weimer-Jehle, Wolfgang (2006). Cross-Impact Balances: A System-Theoretical Approach to Cross-Impact Analysis, *Technological Forecasting and Social Change*. 73: 334–361.
39. Zadeh, L. A. (1974). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. In *Learning Systems and Intelligent Robots* (p.p 1-10), Springer US.