



Advanced Fuzzy Cognitive Maps (FCM) is an approach for modeling dynamic complex systems.

Fariba Eslami Amirabadi¹, Kamal Mirzaie²

Abstract

This article is an investigation of some problems of modeling, expression of characteristics and analysis of Complex Dynamic Systems (CDS) using Fuzzy Cognitive Maps (FCM). Efficient analysis and control of CDS is impossible without a formal model of the system. The key problem of CDS and control theory is to develop methods to qualitatively analyze the dynamics and behavior of such systems and to construct efficient control algorithms for their efficient operation. Most qualitative description of the parameters of complex dynamic systems inevitably leads to ambiguity, complexity and uncertainty. Reasons for using Fuzzy Cognitive Maps (FCM) in CDS modeling are presented. FCMs provide an opportunity to generate new knowledge based on system applications and address the need to address the uncertainties, ambiguities, and inaccuracies associated with real CDS problems. In this study, the basic principles of FCM are briefly presented and then the NHL algorithm for training the FCM model and adjusting these weights. With fuzzy expressions and converting qualitative data into quantitative, a presentation and an example about the factors affecting the phenomenon of divorce were presented. The example results are promising, further development of CDS modeling and control using soft computing methods.

Keywords: *Fuzzy cognitive maps, complex dynamic systems, modeling, nonlinear Hebbian algorithm, Factors affecting divorce.*

1. Doctorate Student, Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Meybod Branch, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Meybod Branch, Iran.

Submitted: 2023-04-29

Accepted: 2023-07-02

Corresponding Author: Fariba eslami amirabadi

Email: fareslam90@gmail.com



نقشه‌های شناختی فازی پیشرفته (FCM)؛ رویکردی بر مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده پویا

فریبا اسلامی امیرآبادی^۱، کمال میرزائی^۲

چکیده

پژوهش حاضر، بررسی برخی مشکلات مدل‌سازی، بیان ویژگی‌ها و نیز تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده پویا (CDS) با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی (FCM) و مطالعه موردی عوامل مؤثر به طلاق است. تجزیه و تحلیل و کنترل کارآمد CDS مبین آن است که مشکل کلیدی CDS و تئوری کنترل؛ توسعه روش‌های تحلیل کیفی پویا و رفتار چنین سیستم‌هایی و ساخت الگوریتم‌های کنترل مناسب برای عملکرد مؤثر آن‌ها است. مشکل آن است که توصیف کیفی بیشتر پارامترهای سیستم‌های پیچیده پویا، به‌ناچار منجر به ابهام، پیچیدگی و عدم قطعیت می‌شود که نقشه‌های شناختی فازی زمینه لازم را برای تولید دانش جدید بر اساس برنامه‌های کاربردی سیستم فراهم کرده و نیاز به رسیدگی به عدم قطعیت‌ها، ابهامات و نادرستی‌های مرتبط با مشکلات واقعی CDS را برطرف می‌کنند. در این پژوهش که بر روی عوامل مؤثر بر طلاق انجام شده است، ابتدا اصول اولیه FCM به طور خلاصه مطرح شده و سپس الگوریتم NHL برای آموزش مدل FCM و تنظیم وزن‌ها با استفاده از عبارات فازی و تبدیل داده‌های کیفی مورد بحث قرار گرفته که نتایج حاصل می‌تواند نشان‌دهنده موفقیت و پیشرفت بیشتر مدل‌سازی و کنترل CDS با استفاده از روش‌های محاسبات نرم باشد.

کلمات کلیدی: نقشه‌های شناختی فازی، سیستم‌های پیچیده پویا، مدل‌سازی، الگوریتم هیبمان غیرخطی، عوامل مؤثر بر طلاق.

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، ایران.

۲. استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

نویسنده مسئول مقاله: فریبا اسلامی امیرآبادی

Email: fareslam90@gmail.com

مقدمه

در برخورد با عبارت سیستم های پیچیده پویا، سؤالاتی بسیار دقیق و جدی مطرح می شود که مثلاً سیستم پیچیده پویا (CDS)^۱ چیست؟ پیچیدگی و در عین حال پویایی سیستم، موجب چه ویژگی هایی برای آن خواهد بود؟ چه ویژگی هایی زمینه بروز و رشد آن را فراهم کرده اند؟ بهترین مدل برای مطالعه و بررسی یک سیستم پیچیده پویا کدام است؟ آیا همه مدل ها، دارای ابزارهای نرم افزاری دقیقی هستند که بتوانند رفتار سیستم را به اندازه کافی شبیه سازی کنند؟ آیا درک و تحلیل پژوهشگران از مفاهیمی مانند آشوب، پیچیدگی و عدم قطعیت، صحیح و یکسان است؟ چگونه این مفاهیم سه گانه، در هنگام مطالعه، مدل سازی، تجزیه و تحلیل و طراحی سیستم های پیچیده پویا مورد توجه قرار می گیرند؟ چگونه نظریه سیستم های مقیاس بزرگ (LSS)^۲ و همچنین برای سلسله مراتب چند سطحی، مفاهیم آشوب، پیچیدگی و عدم قطعیت مورد تحلیل قرار گرفته اند؟ و بالاخره اینکه آیا همه این مدل ها و راه حل های مرتبط، شرایط کار رضایت بخشی را برای رفتار روزمره سیستم های پیچیده پویا فراهم می کنند؟ ایده آل در یک پژوهش آن است تا سؤالات مذکور یکی پس از دیگری، مطرح و پس از ارائه راه حل و احتمالاً طرح سؤالات بیشتر؛ بتوان برای حداقل تعداد بسیار زیادی از موارد واقعی، مدل ها و راه حل های ارائه شده را بکار بست و اهداف سیستم پیچیده پویا را برآورده ساخت. بدیهی است موقعیت هایی نیز قابل تصور هستند که مدل ها و راه حل های ارائه شده (حداقل تا زمان انجام این پژوهش) نمی توانند پاسخ های رضایت بخشی به برخی از مشکلات مرتبط با آن بدهند.

به طور کلی مشکل اصلی و دلیل عمده ناتوانی در فهم درست و علمی و دقیق از رفتار و آشفتگی رفتاری سیستم های پیچیده پویا، با توجه به عدم قطعیت، ابهام و پیچیدگی ساختاری؛ ارائه تفاسیر متفاوت و توضیحات ریاضی مختلف از این مفاهیم توسط افراد با دانش های مختلف و تجربیات متفاوت است. برای مثال، برخی، همه عوامل را در اصطلاح، عدم قطعیت متمرکز کرده و سعی دارند هر عاملی را با استفاده از نظریه ها و تکنیک های موجود برای مدل سازی، در قالب عدم قطعیت توضیح دهند. قاعدتاً هیچ یک از این تلاش ها، هنوز نتوانسته اند پاسخ های رضایت بخشی به مشکلات واقعی رفتار سیستم های پیچیده پویا ارائه کنند.

یکی از تکنیک های مدل سازی جذاب برای سیستم های پیچیده پویا، نقشه های شناختی فازی (FCM) هستند. نقشه های شناختی فازی (به عنوان زیرگروه تکنیک های محاسبات نرم) و به عنوان نوعی ابزار مدل سازی کیفی؛ از رویکردی مشابه فرآیند استدلال و تصمیم گیری انسانی پیروی می کنند و در پایان، ساده ترین و سراسرترین راه را برای مدل سازی روابط بین عوامل مختلف، ارائه می دهند. در حقیقت، نقشه های شناختی فازی، نمودارهای علت معلولی هستند که نمایشگر روابط بین اجزای اساسی در نظام های پیچیده هستند و اجزای نظام و روابط بین آن ها، توسط خبرگان آشنا به اجزای نظام و روابط بین آن ها تعیین شده اند. به بیان دیگر، در نقشه های شناختی فازی، ما با (گره) سروکار داریم که این گره ها، در حقیقت متغیرها و جنبه های مختلف رفتار سیستمی هستند که در عین حال، با یکدیگر مرتبط هستند. در توجیه رابطه علی معلولی میان عوامل، از قانون «اگر ... آنگاه» استفاده می شود. هر کدام از این گره ها دارای وزن مشخصی نیز خواهند بود.

زمانی که تعداد عوامل (گره ها) زیاد باشد، ابتدا لازم است تا عوامل مؤثر، در حوزه های مشخصی دسته بندی شوند؛ اما مشکل این است که با افزایش تعداد عوامل و در نتیجه افزایش روابط بین آن ها، میزان خطای تعیین ارتباط، بسیار افزایش پیدا می کند، به گونه ای که حتی تعیین روابط صحیح علیت و معلولی بین عوامل (گره ها)، به راحتی امکان پذیر نیست. به نظر می رسد برای حل این مشکل، ابتدا باید عوامل را در دسته بندی های مختلف، تقسیم بندی کرد و سپس مکانیسمی را در نظر گرفت تا با استفاده از آن بتوان روند دسته بندی عوامل و مشخص کردن روابط علت و معلولی صحیح را در ماتریس نهایی عوامل توجیه کرد. به طور کلی، تغییرات در توپولوژی یا پارامترهای وزن مدل FCM ممکن است به نتایج استنتاج

1. Complex Dynamic Systems (CDS)

2. Large Scale System (LSS)

کاملاً متفاوتی منجر شود. FCM ها در بسیاری از زمینه‌های علمی مختلف برای مدل‌سازی و تصمیم‌گیری استفاده شده‌اند از جمله: تحولات سیاسی (تا بر، ۱۹۹۱)، مدارهای الکتریکی (استیبلینسکی و همکاران^۲، ۱۹۸۸)، دنیای دریایی مجازی دلفین‌ها، کوسه‌ها و ماهی‌ها (دیکرسون و همکاران^۳، ۱۹۹۴)، رفتار سازمانی و رضایت شغلی (کریگر و همکاران^۴، ۱۹۹۶) و جمعیت‌شناسی اقتصادی کشورهای جهان (اشنایدر و همکاران^۵، ۱۹۹۸) و ...

در این پژوهش، سیستم پیچیده ما، طلاق است. در اصطلاح علم حقوق، طلاق به عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوامع انسانی، عبارت است از گسستن پیوند ازدواج با لفظی مخصوص که با وقوع آن، حقوق و تکلیف متقابل زوجین از بین می‌رود. با این حال، طلاق را می‌توان به عنوان پدیده‌ای در علم روانشناسی نیز مورد بحث قرار داد، چرا که بر تعادل روانی زوجین، فرزندان، بستگان و حتی دوستان نیز اثرگذار است. از سوی دیگر، طلاق می‌تواند پدیده‌ای اقتصادی تلقی شود که ناشی از عدم تعادل اقتصادی در میزان درآمد و مخارج خانواده بوده و در قالب فقر خود را نشان می‌دهد. طلاق را می‌توان پدیده‌ای جمعیت‌شناسانه تلقی کرد که از جهت کمی، سبب متلاشی شدن بنیان خانواده به عنوان تنها واحد مشروع و اساسی ازدیاد جمعیت خواهد شد که یکی از آثار آن، وجود فرزندان در جامعه و محروم از نعمت خانواده خواهد شد که به احتمال زیاد، فاقد شرایط لازم در راه احراز مقام شهروندی یک جامعه هستند. طلاق را از دید فرهنگی نیز می‌توان مورد بررسی قرار داد، چرا که سبب ایجاد ارتباط غیرسالم و خارج از چارچوب قانون میان افراد جامعه می‌شود. بدیهی است هر چه شناخت عوامل مؤثر بر طلاق، به صورت دقیق‌تر و جزئی‌تر و با لحاظ عوامل بیشتر و در حوزه‌های بیشتر، صورت گیرد، راهکارهای ارائه شده در جهت جلوگیری از طلاق و در نتیجه حل مشکلات افراد جامعه، دقیق‌تر و مؤثرتر خواهد بود. به‌گونه‌ای که این راهکارها بتواند حاکمیت را در تدوین برنامه‌های اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، آموزشی مناسب و مؤثر برای سالم‌سازی کانون خانواده و جلوگیری از پیامدها و آثار زیان‌بار طلاق یاری کند.

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از داده‌های یک مطالعه بر روی جمعیتی از افراد مراجعه‌کننده به دادگستری استان یزد، عوامل مؤثر بر پدیده طلاق مورد شناسایی و سپس با استفاده از نظریات خبرگان (قضات، وکلا، روانشناسان) این عوامل، دسته‌بندی شدند. سپس برای هر یک از عوامل مذکور، وزن اولیه خاصی تعیین شد و در پایان نیز تلاش شد تا با استفاده از ویژگی‌های خاص تکنیک محاسبات نرم در نقشه‌های شناختی فازی و به کمک الگوریتم یادگیری غیرخطی هبی (NHL)^۶ و همین‌طور با استفاده از عبارات فازی و تبدیل داده‌های کیفی به کمی، روشی دقیق و کارآمد برای تعیین و میزان تأثیر هر یک از عوامل طلاق ارائه شود.

این پژوهش دارای پنج بخش است. در بخش اول، مسائل چالش‌برانگیز در مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های پیچیده پویا مورد بحث واقع شده است. تمرکز این بخش بر بررسی مشکلات موجود در مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده پویاست. توضیح خواهیم داد که وقتی با مجموعه‌ای بسیار بزرگ از موجودیت‌های ناهمگن مواجه باشیم که همه این موجودیت‌ها، در عین تعامل با یکدیگر، هر یک به صورت جداگانه، مستقل و خودسازمانده هستند، یافتن نوع ارتباط مشخص که ناشی از رابطه علی- معلولی باشد، بسیار دشوار خواهد بود. بخش دوم، به بررسی مبانی نقشه‌های شناختی فازی (FCM) اختصاص داده شده است که این نقشه‌ها چگونه معرفی شدند و چه ویژگی‌هایی دارند. روش‌های یادگیری برای FCM مربوط به آموزش ماتریس E یعنی روابط علی و سببی (یال‌ها) و شدت این یال‌ها (وزن‌ها) هستند که یا مبتنی بر دخالت کاربر و یا پیشینه‌ای از داده‌های موجود است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده، تکنیک‌های یادگیری را می‌توان به سه گروه دسته‌بندی کرد؛ مبتنی بر قانون هب، مبتنی بر جمعیت و هیبریدی که در آن جنبه‌های اصلی الگوریتم‌های یادگیری هب و تکاملی را ترکیب می‌کند.

1. Taber
2. Styblinski et al.
3. Dickerson et al.
4. Craiger et al.
5. Schneider et al.
6. Nonlinear Hebbian Learning (NHL)

اکثر الگوریتم های یادگیری FCM به مدل سازی FCM و بهینه سازی آن اختصاص داده شده اند. این الگوریتم ها، ماتریس وزن های ارتباطی بین مفاهیم را با استفاده از دانش خبره و یا پیشینه ای از داده های موجود وفق می دهند. مدل FCM ایجاد شده پس از آموزش، خصوصیات مسئله یا سیستم را دنبال می کند که در این پژوهش، یادگیری نقشه های شناختی فازی (FCM) با استفاده از الگوریتم غیرخطی هبی (NHL) را در بخش سوم، مطرح کرده ایم. در این بخش توضیح داده ایم که در الگوریتم غیرخطی هبی هر مفهوم (بر حسب فرمول یادگیری و روش های تکرار)، دارای وزن خاصی است که در تعیین بهترین ماتریس از نظر دانش تخصصی هر حوزه، به ما کمک خواهد کرد که این بخش، پژوهش حاضر را متمایز از پژوهش هایی که تاکنون انجام شده، قرار داده است در بخش چهارم، عوامل متعدد و مؤثر در بروز طلاق در حوزه های مختلف، بیان شده اند که به طور کلی عبارت اند از: مشکلات اقتصادی، مسائل زناشویی، نحوه گذران اوقات فراغت، اختلافات مذهبی، عدم کفویت زوجین، استفاده نادرست از فناوری های جدید، برآورده نشدن انتظارات از نقش همسری، خشونت زوجین، عدم صداقت، عدم مشورت در امور زندگی، اختلاف تحصیلی، اختلاف سنی، تفاوت سطح تحصیلات، روابط خارج از چارچوب قانون، طلاق والدین و ... و بالاخره در بخش پایانی نتیجه گیری ذکر شده است. می پردازیم.

پیشینه پژوهش

برخی از کارهای مشابه انجام شده در این زمینه عبارت اند از:

در مقاله (ایمانزاده و همکاران^۱، ۲۰۲۱) با استفاده از روش های داده کاوی، عوامل مؤثر بر طلاق شناسایی شده و یک مدل پیش بینی برای پیش بینی احتمال وقوع طلاق ارائه شده است. در این پژوهش، از الگوریتم درخت تصمیم گیری به عنوان یک روش داده کاوی برای طراحی مدل پیش بینی استفاده شده است. در ابتدا، با استفاده از پرسشنامه ها و مصاحبه هایی با افرادی که ازدواج کرده بودند و سپس جدا شده بودند، عوامل مؤثر بر تصمیم گیری طلاق شناسایی شدند. سپس، با استفاده از داده های جمع آوری شده، یک درخت تصمیم گیری برای پیش بینی احتمال وقوع طلاق طراحی شد. در این مدل، عوامل مؤثر بر تصمیم گیری طلاق، شامل مسائل مالی، نامطلوب بودن روابط زناشویی، ناسازگاری در تفکرهای فردی، عدم رضایت در زندگی زناشویی و ... هستند. نتایج نشان دادند که مدل پیش بینی با دقت بالایی قادر به پیش بینی احتمال وقوع طلاق است. همچنین، با استفاده از این مدل، می توان برای کاهش احتمال وقوع طلاق، بهبود شرایط مالی، افزایش رضایت زناشویی و بهبود ارتباطات زناشویی اقدام کرد.

همچنین در مقاله (ابراهیمی و همکاران^۲، ۲۰۱۹) با استفاده از روش نقشه شناختی فازی، عوامل مؤثر بر پدیده طلاق بررسی شده است. در این پژوهش، با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه با افرادی که تجربه طلاق داشته اند، عوامل مؤثر بر طلاق شناسایی شده و با استفاده از روش نقشه شناختی فازی، ارتباط بین این عوامل و تأثیر آن ها بر تصمیم گیری طلاق مدل شده است. در این پژوهش، عوامل مؤثر بر تصمیم گیری طلاق شامل عوامل اجتماعی، روانی، اقتصادی و فردی مانند عدم رضایت در زندگی زناشویی، اختلافات در روابط زناشویی، مسائل مالی، ناسازگاری در تفکرهای فردی و ... هستند. نتایج نشان دادند که روش نقشه شناختی فازی به عنوان یک روش مؤثر در بررسی عوامل مؤثر بر پدیده طلاق می تواند مفید باشد و به شناخت بهتر این پدیده کمک کند. همچنین، با استفاده از این روش، می توان برای کاهش احتمال وقوع طلاق، بهبود شرایط مالی، رفع اختلافات زناشویی و افزایش رضایت زناشویی اقدام کرد. به طور کلی، این پژوهش نشان می دهد که استفاده از روش نقشه شناختی فازی می تواند به عملکرد بهتر در شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر پدیده طلاق و بهبود روابط زناشویی منجر شود.

1. Imanzadeh et al.

2. Ebrahimi et al.

ولیکن تفاوت عمده کارهای انجام شده با این پژوهش در این است که ما از الگوریتم‌های یادگیری برای مدل‌سازی نقشه‌های شناختی فازی استفاده کرده‌ایم، در صورتی که در مقالات مشابه از نقشه‌های شناختی فازی ساده استفاده شده است که این یادگیری دلیلی بر دریافت نتایجی دقیق‌تر و کامل‌تر دارد.

مبانی نظری پژوهش

مسائل چالش برانگیز در مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های پیچیده پویا

قدم اصلی در مدل‌سازی، تعیین نقطه شروع برای کنترل، بهینه‌سازی و پیاده‌سازی سیستم‌های پیچیده پویا (CDS) است؛ چرا که در سیستم‌های پیچیده پویا، مشکلاتی را هم باید از حیث مدل‌سازی ریاضی و هم از حیث مبانی فلسفی مورد تحلیل قرار داد. به طور خلاصه در سیستم‌های پیچیده پویا، با مجموعه‌ای بسیار بزرگ از موجودیت‌های ناهمگن مواجهیم که با یکدیگر و به طور معمول در یک محیط دارای عدم قطعیت و دارای پیچیدگی ساختاری زیاد، در تعامل هستند. مشکل اینجا است که با وجود تعامل زیرسیستم محلی بین این موجودیت‌ها، اغلب هر کدام به دنبال استقلال و خودسازمان‌دهی هستند، در حالی که هم‌زمان غیرخطی، پویا، فازی و در مواردی آشفته هستند. در مطالعه سیستم‌های پیچیده پویا و با ارائه رویکردی حداقل در ظاهر جدید، به دنبال بررسی چگونگی روابط بین بخش‌ها هستیم، به گونه‌ای که بتواند منجر به رفتارهای جمعی یک سیستم و نحوه تعامل سیستم و ایجاد روابط با محیط خود شود. برخی ویژگی‌های خاص سیستم‌های پیچیده پویا عبارت‌اند از: منحصربه‌فرد بودن، ساختار ضعیف علمی، نقص در رفتار دینامیکی، تضاد بین عوامل مختلف، ماهیت ترکیبی سیستم و ناهمگونی عناصر سازنده سیستم. علاوه بر این باید به گونه‌ای عمل شود که در پایان و با اطمینان شاهد عملکرد روان، قابل‌اعتماد، پایدار و مقرون‌به‌صرفه هر یک از زیرسیستم‌ها و در نتیجه کل CDS باشیم. (اسپراگ^۱، ۱۹۷۹)، (گریتی^۲، ۱۹۷۱)، (اسپراگ^۳، ۱۹۸۲)؛ بنابراین مدل‌سازی در دستگاه‌های پیچیده پویا، چالشی است که نمی‌توان با استفاده از روش‌های رسمی امروزی آن را تکمیل کرد.

به عنوان یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد در دستگاه‌های پیچیده پویا، ساختار شبکه است، از جمله ساختار سلسله مراتبی خودسازمان‌دهی می‌تواند به این صورت باشد: (۱) قطع گره‌های تشکیل‌دهنده معین از سیستم، (۲) اتصال گره‌های قطع شده قبلی به همان گره‌ها یا به سایر گره‌ها، (۳) به دست آوردن گره‌های جدید، (۴) دور انداختن گره‌های موجود، (۵) به دست آوردن پیوندهای جدید، (۶) دور انداختن پیوندهای موجود، (۷) حذف یا اصلاح پیوندهای موجود. علاوه بر این سیستم‌های پیچیده پویا، لزوماً باید ویژگی‌ها (یا بگوئیم قابلیت‌هایی) مانند تکامل مشترک، پیش‌بینی، سازگاری، ظهور، خودارزیابی، استحکام و خرد باشند. (لونبرگر^۴، ۱۹۷۹)، (بلترامی^۵، ۱۹۸۷)، (مسارویچ و همکاران^۶، ۱۹۷۰). با این حال، مشکل کلیدی سیستم‌های پیچیده پویا و تئوری کنترل در توسعه روش‌های تحلیل کیفی، تعیین پویایی و رفتار این سیستم‌ها و نیز ساخت الگوریتم‌های کنترل کارآمد برای عملکرد کارآمد آن‌هاست. در حالت کلی، هدف از کنترل، رساندن سیستم به نقطه‌ای از فضای فازی آن است که با حداکثر یا حداقل مقدار معیار بازده انتخاب شده مطابقت دارد.

از سوی دیگر، یکی از مشکلات اصلی در تئوری سیستم‌های پیچیده پویا و حتی علوم کنترل، راه‌حلی تحت عنوان «مشکلات پیچیده بد، ضعیف و ساختار ضعیف و ضعیف رسمی‌پذیر» است که با پیچیدگی فنی، سازمانی، اجتماعی، اقتصادی پدیده‌ها مرتبط است؛ بنابراین مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل دستگاه‌های پیچیده پویا باید در حضور مسائلی انجام شود که به جهت غیررسمی و محتمل بودن، نیازمند فرمول‌بندی دقیق ریاضی سیستم بر روی محیط‌های مؤثر در تصمیم‌گیری هستند.

1. Sprague
2. Gerrity
3. Luenberger
4. Beltrami
5. Mesarovic et al.

در نهایت ساخت مدل در دستگاه های پیچیده پویا باید بر اساس استفاده از نظریات کارشناسان هر حوزه و استفاده نظام مند از این نظریات انجام شود. گرچه رعایت این موارد نیز، به جهت نیاز به توصیف کیفی بیشتر پارامترهای سیستم های پیچیده پویا، ناگزیر منجر به ابهام، پیچیدگی و عدم قطعیت می شود که خود سبب همه ایجاد مشکلات جدید در مدل سازی توسط سیستم های پیچیده پویا می شود و این واقعیت را بر ملا می سازد که مدل سازی، تحلیل، طراحی و کنترل بهینه سیستم های پیچیده پویا امری بسیار دشوار است. (نلسون^۱، ۱۹۸۷)، (مایکل و همکاران^۲، ۲۰۰۱)، (باریام و همکاران^۳، ۱۹۹۸)، (کین و همکاران^۴، ۱۹۷۸)؛ اما با وجود همه مشکلات، باید در نظر داشت که اگر تمام اقدامات در سیستم های پیچیده پویا با رعایت کامل ضوابط انجام شود، منجر به «ویژگی های تکاملی نوظهور» (EEP) می شود که می تواند به دنبال خود، اموری مانند درمان سیستمی بیماری ها، رفع سیستمی خرابی شبکه برق، مبارزه سیستمی با آفات گیاهی، تولید مواد خود ترمیم شونده و ... شود.

نقشه های شناختی فازی (FCM)

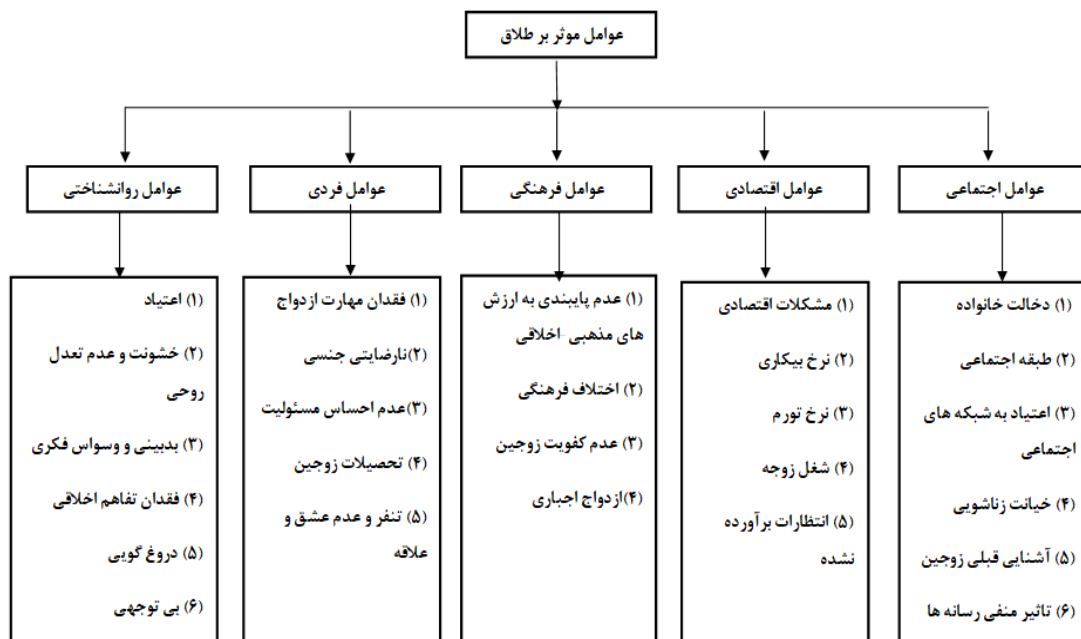
نقشه های شناختی فازی (FCM) به عنوان روشی جدید برای مدل سازی سیستم های پیچیده پویا، از دانش و تجربه انسان استفاده می کند. در حقیقت نقشه های شناختی فازی، ترکیبی از روش های منطق فازی و شبکه های عصبی است که با تشکیل یک روش محاسباتی، قادر به بررسی موقعیت هایی است که در طی آن فرآیند تفکر انسان ویژگی توصیف مبهم یا نامطمئن را دارد، خواهد شد. این نقشه ها در سال ۱۹۸۸ میلادی و توسط کوسکو به عنوان یک روش محاسباتی نرم معرفی شدند (کوسکو^۵، ۱۹۸۶) که به کاربران این توانایی را می دهند که به همان روشی که ذهن انسان با مشکلات روبرو می شود، با استفاده از یک روش مفهومی و از جمله مشتمل بر توضیحات مبهم باشد، مواجه شود. بدین صورت که با یک رویکرد اقتصادی، راهکاری پیچیده و در عین حال انعطاف پذیر، سریع و همه جانبه برای انواع مشکلات (اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، زیست محیطی) ارائه دهد که قاعدتاً با توجه به ویژگی ریاضیاتی بودن، احتمالاً زمان بر، پرهزمت و مستلزم هدر دادن منابع زیادی است. در ابتدا کوسکو، نقشه های شناختی فازی را به عنوان روشی برای نمایش رابطه علی بین مفاهیم مختلف معرفی کرد که هدف آن ها، بازنمایی اطلاعات پیرامون پدیده ها به صورت نمادین و مدل سازی رفتار سیستم های حاوی عناصر با روابط پیچیده بود که البته در مواردی می تواند پنهان یا ناخوانا باشد. به عبارت ساده تر، FCM ها به عنوان روش های محاسباتی نرم در نظر گرفته می شوند که سعی می کنند مانند انسان ها برای تصمیم گیری و استدلال عمل کنند (لونبرگر، ۱۹۷۹). به بیان دیگر، یک FCM، تصویری گرافیکی برای توصیف روابط علت و معلولی بین گره ها ارائه می دهد و این فرصت را ایجاد می کند که رفتار یک سیستم را به روشی ساده و نمادین توصیف شود. به منظور اطمینان از عملکرد سیستم نیز از دانش و تجربه اندوخته شده توسط کارشناسان استفاده می شود. بدین صورت که با استفاده از نظریات کارشناسان، ابتدا مفاهیم یک نظام، شناسایی و سپس روابط میان مفاهیم، تعیین و در نهایت برای هر یک از مفاهیم، وزن خاصی تعیین می شود. بدیهی است زمانی که تعداد عوامل زیاد باشد، لازم است تا ابتدا عوامل، دسته بندی و در حوزه های مشخصی قرار گیرند؛ به عبارت دیگر، نظرات کارشناسان، یک فرآیند مدل سازی متشکل از آرایه ای از گره های Ci (متغیرها) به هم پیوسته، به هم وابسته و همچنین روابط بین آن ها، W (وزن) را توصیه می کنند. مقدار مفاهیم در بازه [۰،۱] و وزن ها در فاصله [-۱،۱] مقادیر می گیرند. (گرومپوس^۶، ۲۰۰۰)، (گرومپوس، ۲۰۱۰)، (گرومپوس، ۲۰۱۲)، (پاپاژورگیو و همکاران^۷، ۲۰۰۴).

1. Nelson
2. Michel et al.
3. Bar-Yam et al.
4. Keen et al.
5. Kosko
6. Groumpos
7. Papageorgiou et al.

در پایان، یک نقشه شناختی فازی در حقیقت به ابزاری برای مدل‌سازی سیستم‌های چندوجهی تبدیل می‌شود که با ادغام شبکه‌های عصبی و منطق فازی و برای توصیف عملکرد سیستم پیچیده با استفاده از مفاهیم بکار می‌رود (لوپسا و همکاران^۱، ۲۰۱۳)، (پاپاجنورگیو و همکاران، ۲۰۰۴). در این تکنیک، یک مدل مفهومی ایجاد می‌شود که در آن هر مفهوم یک ویژگی یا حالتی از یک سیستم را نشان می‌دهد که به طور پویا با سایر مفاهیم تعامل دارد.

روش پژوهش

هر پدیده‌ای که عوامل مؤثری در وقوع آن تأثیر داشته باشد و میزان تأثیر هر یک متفاوت باشد و رابطه بین این عوامل هم مشخص نباشد، اصطلاحاً سیستم پیچیده نامیده می‌شود که این ویژگی در پدیده طلاق همواره وجود دارد. در این مطالعه با یک مثال ساده از تصمیم‌گیری در مورد عواملی که تأثیر بسزایی در پدیده اجتماعی طلاق دارند با استفاده از FCM، می‌توانیم نشان دهیم که رویکرد جدید FCM در مدل‌سازی CDS بسیار امیدوارکننده است. در این پژوهش ابتدا با استفاده از نظرات متخصصان حوزه‌های گوناگون (قضات، وکلا، سردفتران، روانشناسان) در به صورت تهیه پرسشنامه و پژوهش‌های علمی انجام شده، عوامل مؤثر بر مورد شناسایی قرار گرفت و در نهایت ۲۶ ویژگی مشترک به عنوان عوامل اصلی طلاق در پنج گروه (اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، فردی و روان‌شناختی) طبقه‌بندی شد. ویژگی‌های نهایی در شکل ۱ ارائه شده و توضیحات بخشی از آن‌ها به عنوان نمونه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱: طبقه‌بندی عوامل مؤثر بر طلاق

جدول ۱: عوامل موثر بر طلاق

تعداد تابع عضویت فازی	شرح	مفاهیم
۵ فازی	دخالت های اطرافیان در زندگی مشترک زمینه بروز اختلافات در خانواده را به وجود می آورد و در صورت ادامه منجر به طلاق می شود.	C1: دخالت خانواده
۳ فازی	خیانت زناشویی یکی دلایل مهم و تأثیرگذار در امر طلاق است.	C4: خیانت زناشویی
۴ فازی	عدم ثبات شغلی از طریق ایجاد فشار اقتصادی، بحران های مالی ناشی از مشکلات شغلی مرد باعث کاهش توجه او به همسرش و زندگی مشترک و در نتیجه افزایش بروز طلاق می شود.	C8: نرخ بیکاری
۵ فازی	هر فرد زندگی را با انتظارات مشخصی که همسرش با او چگونه رفتار خواهد کرد آغاز می کند. اگر این انتظارات برآورده نشود، نارضایتی و پشیمانی و در نهایت اختلاف در کانون خانواده و طلاق را در پی خواهد داشت.	C11: انتظارات برآورده نشده
۵ فازی	انتخاب همسر بدون علاقه به او و از روی اجبار اشتباه است و باعث دل زدگی طرف مقابل از زندگی و ایجاد فاصله و در نهایت طلاق می شود.	C15: ازدواج اجباری
۴ فازی	نارضایتی جنسی به دلایل مختلف، مثل اهمیت ندادن مرد به رابطه جنسی، سردی مرد در رابطه، ناتوانی جنسی مرد، سردی زن در رابطه و ... باعث ایجاد اختلال در رابطه جنسی شده و رضایت زن و مرد از رابطه همسری را کاهش داده و منجر به طلاق می شود.	C17: نارضایتی جنسی
۵ فازی	تحصیلات باعث دریافت منزلت بالاتر نسبت به فرومایگان و ایجاد فاصله شده که نتیجه آن ارتباط ناصحیح و زمینه اختلاف می شود که از عوامل طلاق محسوب می شود.	C19: تحصیلات
۳ فازی	پیامدهای رفتاری مالی و نگرش منفی جامعه به فرد معتاد باعث تنزل منزلت اجتماعی و اقتصادی او شده و او را در موقعیت پایین تر از همسرش قرار داده و باعث بروز اختلاف زناشویی می شود.	C21: اعتیاد
۵ فازی	بد دل و شکاک بودن مرد و بی اعتمادی مرد یا زن به دلیل رازدار نبودن همسر نیز با کاستن از صمیمیت کلامی همسران در افزایش فاصله آن ها مؤثر بوده است.	C23: بدبینی و وسواس فکری

تجزیه و تحلیل یافته ها

یادگیری FCM با استفاده از الگوریتم NHL

برای یادگیری غیرخطی هبی (NHL) به دلیل عدم دسترسی به مجموعه داده های نسبتاً بزرگ، بهینه سازی علی وزن برای یادگیری وزن ها استفاده می شود (پاپاجئورگیو، ۲۰۱۲). الگوریتم های مبتنی بر هبیان برای آموزش FCM برای تعیین بهترین ماتریس از نظر دانش تخصصی استفاده شدند (امیرخانی و همکاران، ۲۰۱۶).

الگوریتم ها وزن های FCM را از طریق داده های موجود و فرمول یادگیری بر حسب روش های تکرار و قانون هبی تنظیم می کنند. الگوریتم NHL بر این فرض استوار است که تمام مفاهیم مدل FCM در هر مرحله زمانی تحریک شده و مقادیر آن ها تغییر می کند. مقدار w_{ji} مربوط به مفاهیم C_j و C_i به روز می شود و وزن w_{ji} در k تکرار تصحیح می شود.

مقدار $A_i^{(k+1)}$ در تکرار $(k + 1)$ تعیین می‌شود. تأثیر مفاهیم با مقادیر A_j و مقادیر وزنی تصحیح شده $\omega_{ij}^{(k)}$ در تکرار k توسط

$$A_i^{(k+1)} = f\left(A_i^{(k)} + \sum_{j=1, i \neq j}^n \omega_{ji}^{(k)} \cdot A_j^{(k)}\right) \quad (1)$$

هر یک از مفاهیم در مدل FCM ممکن است مفاهیم ورودی یا خروجی باشد. روابط ریاضی مورد استفاده در الگوریتم NHL برای یادگیری FCM در معادلات ۱ و ۲ نشان داده شده است.

$$\Delta\omega_{ji} = \eta_t A_i^{(k-1)} (A_j^{(k-1)} - \omega_{ji}^{(k-1)} A_i^{(k-1)}) \quad (2)$$

که در آن η پارامتر مقیاس‌پذیری به نام نرخ یادگیری است. η یک عامل مقیاس‌کننده مثبت بسیار کوچک به نام پارامتر یادگیری است. مقدار آن از طریق خطای تست به دست می‌آید.

$$\omega_{ji}^{(k)} = \gamma \cdot \omega_{ji}^{(k-1)} + \eta A_i^{(k-1)} (A_j^{(k-1)} - \text{sgn}(\omega_{ji}) \omega_{ji}^{(k-1)} A_i^{(k-1)}) \quad (3)$$

معادله ۳ معادله اصلی الگوریتم NHL است.

γ پارامتر کاهش وزن است. مقادیر مفاهیم و اوزان $\omega_{ji}^{(k)}$ به ترتیب با معادلات ۱ و ۳ محاسبه می‌شوند. در واقع، الگوریتم NHL عناصر اصلی غیر صفر ماتریس پیشنهاد شده توسط متخصصان را در هر تکرار به روز می‌کند. معیارهای زیر تعیین می‌کنند که الگوریتم NHL چه زمانی به پایان می‌رسد (امیرخانی و همکاران، ۲۰۱۶).
(الف) تابع پایانی F1 به صورت داده شده است.

$$F1 = \|OC_i - T_i\| \quad (4)$$

که در آن T_i مقدار میانگین OC_i است. این نوع تابع متریک برای الگوریتم NHL مورد استفاده در FCM ها مناسب است. در هر مرحله، F1 فاصله اقلیدسی را برای OC_i و T_i با فرض اینکه $T_i \in [T_i^{\min}, T_i^{\max}]$ محاسبه می‌شود با:

$$T_i = \frac{T_i^{\min} + T_i^{\max}}{2} \quad (5)$$

با توجه به اینکه مدل FCM دارای $m - OC$ است، برای محاسبه F1، مجموع مربع بین $m - OC$ و $m - Ts$ را می‌توان با

$$F1 = \sqrt{\sum_{j=1}^m (OC_i - T_i)^2} \quad (6)$$

پس از به حداقل رساندن F1، وضعیت به پایان می‌رسد. (ب) شرط دوم برای تکمیل الگوریتم، تفاوت بین دو OC متوالی است. این مقدار باید کمتر از e باشد؛ بنابراین، مقدار تکرار $(k + 1)$ th باید کمتر از e باشد.

$$F2 = |OC_i^{(t+1)} - OC_i^{(t)}| < e = 0.002 \quad (7)$$

در این الگوریتم مقادیر پارامترهای η و γ از طریق خطای تست تعیین می‌شود. پس از چندین آزمایش، مقادیر η و γ بهترین الگوریتم را نشان می‌دهند. در نهایت، زمانی که شرایط پایان الگوریتمی برآورده شد، ماتریس وزن نهایی (ω_{NHL}) به دست می‌آید.

اجرای مدل FCM به سه مرحله اصلی تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از شناسایی مفاهیم، تعیین روابط بین مفاهیم و وزنه‌های اولیه و تعیین وزن هر یک از مفاهیم. مفاهیم رایج در بین متخصصان به عنوان گره‌های مدل انتخاب می‌شوند. برای شناسایی روابط بین مفاهیم، کارشناسان تعامل بین مفاهیم را با توجه به متغیرهای فازی تعریف می‌کنند و اثر آن‌ها

به صورت (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) بیان می شود. در نهایت، این مقادیر با استفاده از تکنیک SUM، تجمیع شده و وزن کل با روش فازی سازی مرکزی، تولید و به یک مقدار عددی تبدیل می شود و در پایان ماتریس وزن مربوطه ساخته می شود.

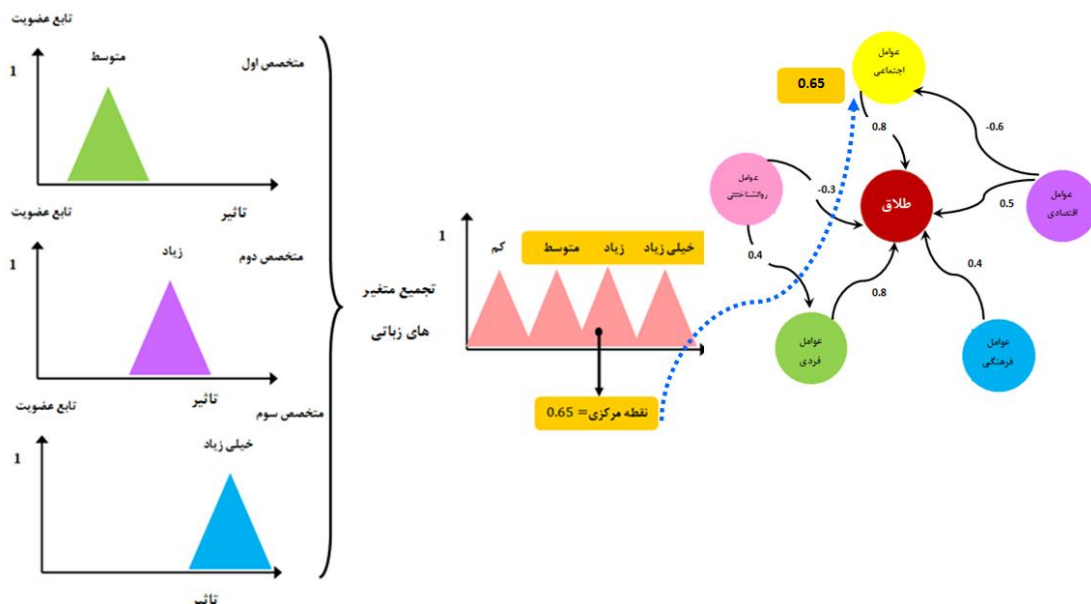
در مرحله بعد، ابتدا علامت رابطه بین دو مفهوم مشخص شده و در نهایت مقادیر عددی دو مفهوم محاسبه می شود. برای این منظور از پنج تابع عضویت استفاده شد. مثال زیر را در نظر بگیرید.

متخصص اول: C4 تأثیر زیادی روی C27 دارد.

متخصص دوم: C4 تأثیر متوسطی بر C27 دارد.

متخصص سوم: C4 تأثیر زیادی روی C27 دارد.

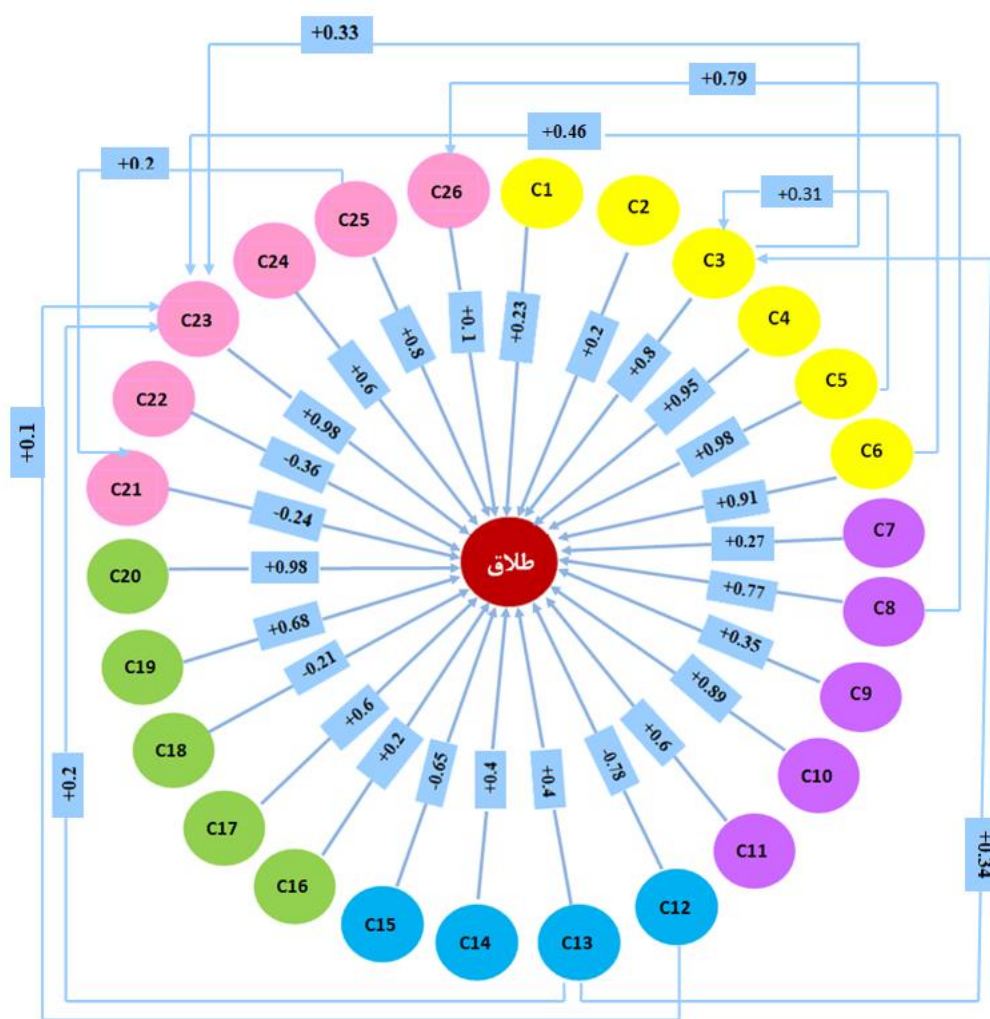
با استفاده از روش SUM، سه وزن زبانی فوق (بالا، خیلی زیاد و خیلی زیاد) جمع می شوند. سه وزن زبانی فوق (زیاد، بسیار زیاد و بسیار زیاد) با استفاده از روش SUM جمع آوری شده اند. شکل ۲ روش فازی سازی مرکز را نشان می دهد که برای محاسبه مقدار عددی وزن در محدوده [۱-] اجرا شده است.



شکل ۲: تجمیع و غیرفازی سازی وزن های زبانی

با استفاده از این روش، وزن تمامی روابط بین مفاهیم مربوط به FCM برای پدیده طلاق محاسبه شد. در مرحله بعد، ما از یک الگوریتم یادگیری برای آموزش مدل استفاده کردیم که شامل به روزرسانی وزن رابطه است، هدف، ایجاد یک الگوریتم یادگیری بهبود مدل سازی FCM است که در نهایت، یک نقشه شناخت فازی برای عوامل مؤثر بر طلاق استخراج شد. گره مرکزی مفهوم طلاق است که فعل و انفعالات را از سایر گره ها دریافت و جمع آوری می کند. وزن مثبت لبه نشان دهنده تأثیر مثبت آن بر بروز پدیده طلاق و وزن منفی نشان دهنده نقش بازدارندگی در بروز پدیده طلاق است. از رنگ های زرد، بنفش، آبی و سبز برای مشخص کردن دسته بندی هر ویژگی یا مفهومی استفاده شد. ویژگی های C1 تا C6 مشخص شده با رنگ زرد به عنوان عوامل اجتماعی طبقه بندی شدند. رنگ بنفش برای ویژگی های C7 تا C11 در رده عوامل اقتصادی استفاده شد. آبی و سبز و صورتی نیز به ترتیب برای ویژگی های C12 تا C15 عوامل فرهنگی استفاده شد و ویژگی های C16 تا C20 برای دسته عوامل فردی و ویژگی های C21 تا C26 برای عوامل روان شناختی استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از داده های یک مطالعه بر روی جمعیتی از افراد مراجعه کننده به دادگستری استان یزد، عوامل مؤثر بر پدیده ی

طلاق مورد شناسایی و دسته‌بندی قرار گرفت. هدف بررسی دانش دامنه و تعیین ساختار اولیه FCM و وزن‌های اولیه و سپس استفاده از الگوریتم NHL برای آموزش مدل FCM و تنظیم وزن‌ها با توجه به ویژگی‌های مفید FCM است. برای استفاده از عبارات فازی و تبدیل داده‌های کیفی به کمی، روشی دقیق و کارآمد برای تعیین و میزان تأثیر هر یک از عوامل طلاق ارائه شد که در پایان؛ این پژوهش با دقت تقریبی ۹۵/۸ درصد عوامل مهم و مؤثر بر طلاق را تعیین شد که نسبت به مطالعات قبلی، درصد دقت بالاتری را نشان می‌دهد. نتیجه پژوهش حاکی از آن است که از ۲۶ عامل مؤثر بر طلاق، برخی عوامل، تأثیر مستقیم در وقوع طلاق دارند و برخی دیگر از عوامل با اثرپذیری از یکدیگر و به عنوان عامل زمینه‌ای منجر به طلاق شده است. به عنوان مثال، بیکاری یا سطح سواد به اصطلاح پایین زوج، منجر به اعتیاد و سپس اعتیاد سبب طلاق شده است.



شکل ۳: مدل FCM برای عوامل مؤثر بر طلاق

نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در این پژوهش به یکی از مسائل دشوار و چالش‌برانگیز مسائل در مدل‌سازی، تحلیل و کنترل سیستم‌های پیچیده پویا پرداخته شده است. تجزیه و تحلیل و کنترل کارآمد CDS بدون یک مدل رسمی از سیستم غیرممکن است. با این حال، فناوری‌های امروزی برای ساخت چنین مدل‌هایی برای CDS کافی نیستند. توصیف کیفی بیشتر پارامترهای سیستم‌های پیچیده پویا به‌طور اجتناب‌ناپذیری منجر به ابهام، پیچیدگی و عدم قطعیت می‌شود. یکی از چالش‌های پذیرش «عملیات»

هر سیستم پیچیده پویا، توانایی تصمیم‌گیری است تا سیستم کارآمد و مقرون به صرفه اجرا شود. رویکردهای مفهومی و نوآورانه جدیدی مورد نیاز است. کاملاً ضروری است که بپذیریم دانش تنها چیزی است که می‌تواند ما را در توسعه چنین مدل‌هایی راهنمایی کند و این دانش باید از بیش از یک متخصص که تجربه گسترده‌ای در مشاهده و کار بر روی CDS های امروزی دارد، باشد. تصمیم‌گیری‌ها باید توسط سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری جدید (DMSS) که از سیستم‌های پیشرفته و هوشمند جدید استفاده می‌کنند، گرفته شود. چنین رویکرد جدیدی به عنوان نقشه‌های شناختی فازی (FCM) پیشنهاد شده است. FCM ها فرصتی را برای تولید دانش بهتر بر اساس برنامه‌های کاربردی سیستم ارائه می‌دهند و نیاز به رسیدگی به عدم قطعیت‌ها، ابهامات و نادرستی‌های مرتبط با مشکلات واقعی CDS را برطرف می‌کنند. مثال گویا در این پژوهش کامل ارائه شده است و نتایج به دست آمده برای تلاش‌های تحقیقاتی آینده در این زمینه امیدوارکننده است.

در این مثال با مطالعه حدود ۱۰۰ پرونده مربوط به طلاق، ۲۶ مورد از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر طلاق در ۵ گروه (اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، فردی و روان‌شناختی) تقسیم‌بندی و میزان ارتباط میان آن‌ها با ۵ عبارت فازی (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) تعیین شد. سپس ماتریس حاصل از نتایج را با استفاده از نقشه شناختی فازی (FCM) مدل سازی و به کمک الگوریتم بهینه‌سازی NHL که در آن وزن‌های FCM را از طریق داده‌های موجود و فرمول‌های یادگیری بر حسب روش‌های تکرار و قانون هبی تنظیم و بهترین ماتریس استخراج و نمودار FCM که در آن ارتباط میان میزان تأثیر عوامل مختلف بر طلاق و بر یکدیگر، مشخص شد. نتایج مثال حاضر (با میزان دقت تقریبی ۹۵/۸۳) نشان داد که عوامل فرهنگی و اجتماعی، بیشترین تأثیر را بر طلاق دارند. همچنین ۴ عامل دخالت خانواده، انتظارات برآورده نشده، ازدواج اجباری و اعتیاد؛ مهم‌ترین عوامل مؤثر و مستقیم طلاق هستند. اضافه بر این عواملی مانند میزان تحصیلات، نارضایتی جنسی، بدبینی و وسواس فکری به صورت غیرمستقیم منجر به طلاق می‌شوند. این پژوهش با استفاده از FCM و با دقت بسیار بالا با استفاده از داده‌های کمی عوامل مؤثر بر یک پدیده کیفی را در مورد طلاق ترسیم کرد که نتایج حاصل می‌تواند در اخذ تصمیمات قضایی و درمانی و مشاوره برای پیشگیری از طلاق نقش مهمی ایفا کند. پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده عبارت‌اند از توسعه DMSS جدید با استفاده از سیستم‌های هوشمند و نظریه‌های شبکه عصبی پیشرفته. توسعه مدل‌های ریاضی با استفاده از FCM های پیشرفته جدید برای کاربردهای مختلف و با استفاده از تعدادی متخصصان بیشتر. توسعه ابزارهای نرم‌افزاری جدید برای CDS های مختلف و انجام شبیه‌سازی‌های گسترده.

منابع

- Amirkhani, A, Mosavi, M.R, Mohammadi, K, & Papageorgiou, E.I. (2016). A novel hybrid method based on fuzzy cognitive maps and fuzzy clustering algorithms for grading celiac disease. *Neural Computing and Applications*, 30, 1573 - 1588.
- Bar-Yam, Y, McKay, S. R, & Christian, W. (1998). Dynamics of complex systems. *Computers in Physics*, 12(4), 335-336.
- Beena, P, & Ganguli, R. (2011). Structural damage detection using fuzzy cognitive maps and Hebbian learning. *Applied Soft Computing*, 11(1), 1014-1020.
- Beltrami, E.J. (1987). *Mathematics for Dynamic Modeling*, Academic Press, Cambridge, USA.
- Craiger, J. P, Weiss, R. J, Goodman, D. F, & Butler, A. A. (1996). Simulating organizational behaviour with fuzzy cognitive maps. *International Journal of Computer Intelligence Organisation*, 1, 120-133.
- Dickerson, J. A, & Kosko, B. (1994). Virtual worlds in fuzzy cognitive maps. In B. Kosko (Ed.), *Fuzzy Engineering*. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Simon and Schuster, pp. 499-528.
- Ebrahimi Sales, N, & Ghanbari, H. (2019). Investigating the Factors Affecting the Phenomenon of Divorce Using Fuzzy Cognitive Mapping. *Fuzzy Systems and its Applications*, 2(2), 151-166. doi: 20.1001.1.27174409.1398.2.2.7.7=DOR
- Gerrity, T. P. Jr. (2015). The design of man-machine decision systems. An Application to Port- folio Management. *Sloan Management Review* 12, 12(2), 59-75.
- Groumpos, P.P, & Stylios .C.D. (2000). Modeling supervisory control systems using fuzzy cognitive

- maps. *Chaos, Solitons & Fractals*, 11(1), 329-336.
- Groumpos ,P.P. (2010). *Fuzzy cognitive maps: Basic theories and their application to complex systems*. Fuzzy cognitive maps Springer Berlin Heidelberg, Heidelberg, Germany, 1-22.
- Groumpos .P.P, & Anninou. A.P. (2012). A theoretical mathematical modeling of Parkinson's disease using Fuzzy Cognitive Maps. 12th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering, 677 – 682.
- Imanzadeh, V, Moheb, N, Abdi, R, & Honarmand Azimi, M. (2021). Identifying Effective Factors on Divorce and Providing a Model for Divorce Prediction Using Modelling of a Data Mining Decision Tree. *Journal of Applied Psychological Research*, 12(2), 247-263. doi: 10.22059/japr.2021.308375.643607
- Kosko ,B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of man- machine studies*, 24(1), 65- 75.
- Keen P. G. W. & Scott Morton M. S. (1978). *Decision support systems: an organizational perspective*. Addison-Wesley Pub.
- Luenberger D.G. (1979). *Introduction to dynamic systems: theory, models, and applications*. Wiley.
- Mesarovic. M, & Macko .D, & Takahara,Y. (1970). *Theory of hierarchical multilevel systems*. New York: Academic Press.
- Lopes, M. H, Ortega, N. R, Silveira, P. S, Massad, E, Higa, R, & Marin, H.deF. (2013). Fuzzy cognitive map in differential diagnosis of alterations in urinary elimination: a nursing approach. *International journal of medical informatics*, 82(3), 201–208.
- Mago, V. K, Mehta, R, Woolrych, R, & Papageorgiou, E. I. (2012). Supporting meningitis diagnosis amongst infants and children through the use of fuzzy cognitive mapping. *BMC medical informatics and decision making*, 12, 98.
- Michel, A, Wang, A, Hu, B, Nashed, Z, & Taft, E. (2001). *Qualitative Theory of Dynamical Systems* (2nd ed). CRC Press.
- Nelson, R.J. (1978). *Structure of Complex Systems*.by aggregation. In *Sociocybernetics*. Springer, Boston, MA, 113-122.
- Papageorgiou ,E. I, Stylios, C. D, & Groumpos, P. P. (2004). Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps. *International Journal of Approximate Reasoning*, 37(3), 219-249.
- Papageorgiou, E. I, & Froelich, W. (2012). Application of evolutionary fuzzy cognitive maps for prediction of pulmonary infections. *IEEE transactions on information technology in biomedicine: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 16(1), 143–149.
- Schneider, M, Kandel, A, & Chew, G. (1998). Automatic construction of FCMS. *Fuzzy Sets and System*, 93, 161–172.
- Sprague, R. H, & Watson, H. J. (1979). *Bit by Bit: Toward Decision Support Systems*. California Management Review, 22(1), 60–68.
- Sprague, Jr. R. H, & Carlson, E. D. (1982). *Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Styblinski, M. A, & Meyer, B. D. (1988). Signal flow graphs versus fuzzy cognitive maps in application to qualitative circuit analysis. *International Journal of Man Machine Studies*, 35, 175–186.
- Taber, R. (1991). Knowledge processing with fuzzy cognitive maps. *Expert Systems With Applications*, 2, 83–87.