Encyclopedia of Digital Transformation
Vol. 2; No. 4; PP. 84-97
winter 2021
DOI: 10.22034/dtj.2023.393811.1093

MehrAlborz University

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

Fariba Eslami Amirabadi[1], Kamal Mirzaie[2]

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

دانشنامهٔ تحول دیجیتال

دانشگاه مهرالبرز
دورهٔ ۲، شمارهٔ ۴
زمستان ۱۴۰۰
صص. ۸۴- ۹۷

Encyclopedia of Digital Transformation
DOI: 10.22034/dtj.2023.393811.1093

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 تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های پیچیده پویا (CDS) با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی (FCM) و مطالعه موردی عوامل مؤثر به طلاق است. تجزیه‌وتحلیل 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 هبیان غیرخطی، عوامل مؤثر بر طلاق.*

---

۱. دانشجو 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

نویسندهٔ مسئول مقاله: فریبا اسلامی امیرآبادی

Email: fareslam90@gmail.com

مقدمه

در برخورد با عبارت سیستم‌های پیچیده پویا، سؤالاتی بسیار دقیق و جدی مطرح می‌شود که مثلاً سیستم پیچیده پویا (CDS)[1] چیست؟ پیچیدگی و در عین حال پویایی سیستم، موجب چه ویژگی‌هایی برای آن خواهد بود؟ چه ویژگی‌هایی زمینه بروز و رشد آن را فراهم کرده‌اند؟ بهترین مدل برای مطالعه و بررسی یک سیستم پیچیده پویا کدام است؟ آیا همه مدل‌ها، دارای ابزارهای نرم‌افزاری دقیقی هستند که بتوانند رفتار سیستم را به اندازه کافی شبیه‌سازی کنند؟ آیا درک و تحلیل پژوهشگران از مفاهیمی مانند آشوب، پیچیدگی و عدم قطعیت، صحیح و یکسان است؟ چگونه این مفاهیم سه‌گانه، در هنگام مطالعه، مدل‌سازی، تجزیه‌وتحلیل و طراحی سیستم‌های پیچیده پویا مورد توجه قرار می‌گیرند؟ چگونه نظریه سیستم‌های مقیاس بزرگ (LSS) [2] و همچنین برای سلسله مراتب چند سطحی، مفاهیم آشوب، پیچیدگی و عدم قطعیت مورد تحلیل قرار گرفته‌اند؟ و بالاخره اینکه آیا همه این مدل‌ها و راه‌حل‌های مرتبط، شرایط کار رضایت‌بخشی را برای رفتار روزمره سیستم‌های پیچیده پویا فراهم می‌کنند؟ ایده‌آل در یک پژوهش آن است تا سؤالات مذکور یکی پس از دیگری، مطرح و پس از ارائه راه‌حل و احتمالاً طرح سؤالات بیشتر؛ بتوان برای حداقل تعداد بسیار زیادی از موارد واقعی، مدل‌ها و راه‌حل‌های ارائه شده را بکار بست و اهداف سیستم پیچیده پویا را برآورده ساخت. بدیهی است موقعیت‌هایی نیز قابل تصور هستند که مدل‌ها و راه‌حل‌های ارائه شده (حداقل تا زمان انجام این پژوهش) نمی‌توانند پاسخ‌های رضایت‌بخشی 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 سیستم‌های پیچیده پویا، با توجه به عدم قطعیت، ابهام و پیچیدگی ساختاری؛ ارائه تفاسیر متفاوت و توضیحات ریاضی مختلف از این مفاهیم توسط افراد با دانش‌های 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 نظریه‌ها و تکنیک‌های موجود برای مدل‌سازی، در قالب عدم قطعیت توضیح دهند. قاعدتاً هیچ‌یک از این تلاش‌ها، هنوز نتوانسته‌اند پاسخ‌های رضایت‌بخشی به مشکلات واقعی رفتار سیستم‌های پیچیده پویا ارائه کنند.

یکی از تکنیک‌های مدل‌سازی جذاب برای سیستم‌های پیچیده پویا، نقشه‌های شناختی فازی (FCM) هستند. نقشه‌های شناختی فازی (به عنوان زیرگروه تکنیک‌های محاسبات نرم) و به عنوان نوعی ابزار مدل‌سازی کیفی؛ از رویکردی مشابه فرآیند استدلال و تصمیم‌گیری انسانی پیروی می‌کنند و در پایان، ساده‌ترین و سرراست‌ترین راه را برای مدل‌سازی روابط بین عوامل مختلف، ارائه می‌دهند. در حقیقت، نقشه‌های شناختی فازی، نمودارهای علت معلولی هستند که نمایشگر روابط بین اجزای اساسی در نظام‌های پیچیده هستند و اجزای نظام و روابط بین آن‌ها، توسط خبرگان آشنا به اجزای نظام و روابط بین آن‌ها تعیین شده‌اند. به بیان دیگر، در نقشه‌های شناختی فازی، ما با (گره) سروکار داریم که این گره‌ها، در حقیقت متغیرها و جنبه‌های مختلف رفتار سیستمی هستند که در عین حال، با یکدیگر مرتبط هستند. در توجیه رابطه علی معلولی میان عوامل، از قانون «اگر ... آنگاه» استفاده می‌شود. هر کدام از این گره‌ها دارای وزن مشخصی نیز خواهند بود.

زمانی که تعداد عوامل (گره‌ها) زیاد باشد، ابتدا لازم است تا عوامل مؤثر، در حوزه‌های مشخصی دسته‌بندی شوند؛ اما مشکل این است که با افزایش تعداد عوامل و در نتیجه افزایش روابط بین آن‌ها، میزان خطای تعیین ارتباط، بسیار افزایش پیدا می‌کند، به‌گونه‌ای که حتی تعیین روابط صحیح علیت و معلولی بین عوامل (گره‌ها)، به راحتی امکان‌پذیر نیست. به نظر می‌رسد برای حل این مشکل، ابتدا باید عوامل را در دسته‌بندی‌های مختلف، تقسیم‌بندی کرد و سپس مکانیسمی را در نظر گرفت تا با استفاده از آن بتوان روند دسته‌بندی 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 (تابر[1]، ۱۹۹۱)، مدارهای الکتریکی (استیبلینسکی و همکاران[2]، ۱۹۸۸)، دنیای دریایی مجازی دلفین‌ها، کوسه‌ها و ماهی‌ها (دیکرسون و همکاران[3]، ۱۹۹۴)، رفتار سازمانی و رضایت شغلی (کریگر و همکاران[4]، ۱۹۹۶) و جمعیت‌شناسی اقتصادی کشورهای جهان (اشنایدر و همکاران[5]، 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 فرزندانی 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)[6] و همین طور 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 الگوریتم‌های یادگیری FCM به مدل‌سازی FCM و بهینه‌سازی آن اختصاص داده شده‌اند. این الگوریتم‌ها، ماتریس وزن‌های ارتباطی بین مفاهیم را با استفاده از دانش خبره و یا پیشینه‌ای از داده‌های موجود وفق می‌دهند. مدل FCM ایجاد شده پس از آموزش، خصوصیات مسئله یا سیستم را دنبال می‌کند که در این پژوهش، یادگیری نقشه‌های شناختی فازی (FCM) با استفاده از الگوریتم غیرخطی هبی (NHL) را در بخش سوم، مطرح کرده‌ایم. در این بخش توضیح داده‌ایم که در الگوریتم غیرخطی هبی هر مفهوم (بر حسب فرمول یادگیری و روش‌های 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 پژوهش‌هایی که تاکنون انجام شده، قرار داده است در بخش چهارم، عوامل متعدد و مؤثر در بروز طلاق در حوزه‌های مختلف، بیان شده‌اند که به طور کلی عبارت‌اند از: مشکلات اقتصادی، مسائل زناشویی، نحوه گذران اوقات فراغت، اختلافات مذهبی، عدم کفویت زوجین، استفاده نادرست از فناوری‌های 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 نتیجه‌گیری ذکر شده است. می‌پردازیم.

پیشینه پژوهش

برخی از کارهای مشابه انجام شده در این زمینه عبارت‌اند از:

در مقاله (ایمانزاده و همکاران[1]، ۲۰۲۱) با استفاده از روش‌های داده‌کاوی، عوامل مؤثر بر طلاق شناسایی شده و یک مدل پیش‌بینی برای پیش‌بینی احتمال وقوع طلاق ارائه شده است. در این پژوهش، از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری به عنوان یک روش داده‌کاوی برای طراحی مدل پیش‌بینی استفاده شده است. در ابتدا، با استفاده از پرسشنامه‌ها و مصاحبه‌هایی با افرادی که ازدواج کرده بودند و سپس جدا شده بودند، عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری طلاق شناسایی شدند. سپس، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، یک درخت تصمیم‌گیری برای پیش‌بینی احتمال وقوع طلاق طراحی شد. در این مدل، عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری طلاق، شامل مسائل مالی، نامطلوب بودن روابط زناشویی، ناسازگاری در تفکرهای فردی، عدم رضایت در زندگی زناشویی و ... هستند. نتایج نشان دادند که مدل پیش‌بینی با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی احتمال وقوع طلاق است. همچنین، با استفاده از این مدل، می‌توان برای کاهش احتمال وقوع طلاق، بهبود شرایط مالی، افزایش رضایت زناشویی و بهبود ارتباطات زناشویی اقدام کرد.

همچنین در مقاله (ابراهیمی و همکاران[2]، 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 داشته‌اند، عوامل مؤثر بر طلاق شناسایی شده و با استفاده از روش نقشه شناختی فازی، ارتباط بین این عوامل و تأثیر آن‌ها بر تصمیم‌گیری طلاق مدل شده است. در این پژوهش، عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری 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 می‌تواند مفید باشد و به شناخت بهتر این پدیده کمک کند. همچنین، با استفاده از این روش، می‌توان برای کاهش احتمال وقوع طلاق، بهبود شرایط مالی، رفع اختلافات زناشویی و افزایش رضایت زناشویی اقدام کرد. به طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روش نقشه شناختی فازی می‌تواند 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، به‌گونه‌ای 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 به‌گونه‌ای 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[1]، ۱۹۷۹)، (گریتی[2]، ۱۹۷۱)، (اسپراگ، 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 بگوییم قابلیت‌هایی) مانند تکامل مشترک، پیش‌بینی، سازگاری، ظهور، خودارزیابی، استحکام و خرد باشند. (لونبرگر[3]، ۱۹۷۹)، (بلترامی[4]، ۱۹۸۷)، (مسارویچ و همکاران[5]، 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 ضعیف و ساختار ضعیف و ضعیف رسمی‌پذیر» است که با پیچیدگی فنی، سازمانی، اجتماعی، اقتصادی پدیده‌ها مرتبط است؛ بنابراین مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل 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 دستگاه‌های پیچیده پویا باید بر اساس استفاده از نظریات کارشناسان هر حوزه و استفاده نظام‌مند از این نظریات انجام شود. گرچه رعایت این موارد نیز، به جهت نیاز به توصیف کیفی بیشتر پارامترهای سیستم‌های پیچیده پویا، ناگزیر منجر به ابهام، پیچیدگی و عدم قطعیت می‌شود که خود سبب همه ایجاد مشکلات جدید در مدل‌سازی توسط سیستم‌های پیچیده پویا می‌شودد و این واقعیت را برملا می‌سازد که مدل‌سازی، تحلیل، طراحی و کنترل بهینه سیستم‌های پیچیده پویا امری بسیار دشوار است. (نلسون[1]، ۱۹۸۷)، (مایکل و همکاران[2]، ۲۰۰۱)، (باریام و همکاران[3]، ۱۹۹۸)، (کین و همکاران[4]، ۱۹۷۸)؛ اما با وجود همه مشکلات، باید در نظر داشت که اگر تمام اقدامات در سیستم‌های پیچیده پویا با رعایت کامل ضوابط انجام شود، منجر به «ویژگی‌های تکاملی نوظهور» (EEP) می‌شود که می‌تواند به دنبال خود، اموری مانند درمان سیستمی بیماری‌ها، رفع سیستمی خرابی شبکه برق، مبارزه سیستمی با آفات گیاهی، تولید مواد خود ترمیم شونده و ... شود.

نقشه‌های شناختی فازی (FCM)

نقشه‌های شناختی فازی (FCM) به عنوان روشی جدید برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده پویا، از دانش و تجربه انسان استفاده می‌کند. در حقیقت نقشه‌های شناختی فازی، ترکیبی از روش‌های منطق فازی و شبکه‌های عصبی است که با تشکیل یک روش محاسباتی، قادر به بررسی موقعیت‌هایی است که در طی آن فرآیند تفکر انسان ویژگی توصیف مبهم یا نامطمئن را دارد، خواهد شد. این نقشه‌ها در سال ۱۹۸۸ میلادی و توسط کوسکو به عنوان یک روش محاسباتی نرم معرفی شدند (کوسکو[5]، ۱۹۸۶) که به کاربران این توانایی را می‌دهند که به همان روشی که ذهن انسان با مشکلات روبرو می‌شود، 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 انعطاف‌پذیر، سریع و همه‌جانبه برای انواع مشکلات (اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، زیست‌محیطی) ارائه دهد که قاعدتاً با توجه به ویژگی ریاضیاتی بودن، احتمالاً زمان‌بر، پرزحمت و مستلزم هدر دادن منابع زیادی است. در ابتدا کوسکو، نقشه‌های شناختی فازی را به عنوان روشی برای نمایش رابطه علی بین مفاهیم مختلف معرفی کرد که هدف آن‌ها، بازنمایی اطلاعات پیرامون پدیده‌ها به صورت نمادین و مدل‌سازی رفتار سیستم‌های حاوی عناصر با روابط پیچیده بود که البته در مواردی می‌تواند پنهان یا ناخوانا باشد. به عبارت ساده‌تر، FCM ها به عنوان روش‌های محاسباتی نرم در نظر گرفته می‌شوند که سعی می‌کنند مانند انسان‌ها برای تصمیم‌گیری و استدلال عمل کنند (لونبرگر، ۱۹۷۹). به بیان دیگر، یک FCM، تصویری گرافیکی برای توصیف روابط علت و معلولی بین گره‌ها ارائه می‌دهد و این فرصت را ایجاد می‌کند 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 می‌شود. بدین‌صورت 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 می‌شودد. بدیهی است زمانی که تعداد عوامل زیاد باشد، لازم است تا ابتدا عوامل، دسته‌بندی و در حوزه‌های مشخصی قرار گیرند؛ به عبارت دیگر، نظرات کارشناسان، یک فرآیند مدل‌سازی متشکل از آرایه‌ای از گره‌های Ci (متغیرها) به‌هم‌پیوسته، به هم وابسته و همچنین روابط بین آن‌ها، W (وزن) را توصیه می‌کنند. مقدار مفاهیم در بازه [۰،۱] و وزن‌ها در فاصله [-۱،۱] مقادیر می‌گیرند. (گرومپوس[6]، ۲۰۰۰)، (گرومپوس، ۲۰۱۰)، (گرومپوس، ۲۰۱۲)، (پاپاجئورگیو و همکاران[7]، 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[1]، ۲۰۱۳)، (پاپاجئورگیو 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: طبقه بندی عوامل موثر بر طلاق

1. Lopesa et al.

جدول ۱: عوامل موثر بر طلاق

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

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

یادگیری FCM با استفاده از الگوریتم NHL

برای یادگیری غیرخطی هبی (NHL) به دلیل عدم دسترسی به مجموعه داده‌های نسبتاً بزرگ، بهینه‌سازی علی وزن برای یادگیری وزن‌ها استفاده می‌شود (پاپاجئورگیو، ۲۰۱۲). الگوریتم‌های مبتنی بر هبیان برای آموزش FCM برای تعیین بهترین ماتریس از نظر دانش تخصصی استفاده شدند (امیرخانی و همکاران[1]، ۲۰۱۶).

الگوریتم‌ها وزن‌های FCM را از طریق داده‌های موجود و فرمول یادگیری بر حسب روش‌های تکرار و قانون هبی تنظیم می‌کنند. الگوریتم NHL بر این فرض استوار است که تمام مفاهیم مدل FCM در هر مرحله زمانی تحریک شده و مقادیر آن‌ها تغییر می‌کند. مقدار ω_{ji} مربوط به مفاهیم c_j و c_i به روز می‌شود و وزن ω_{ji} در k تکرار تصحیح می‌شود.

1. Amirkhan et al.

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

$$A_i^{(k+1)} = f\left(A_i^{(k)} + \sum_{j=1,i\neq j}^{n} \omega_{ji}^{(k)}.\ A_j^{(k)}\right) \quad (۱)$$

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.

$$\Delta\omega_{ji} = {}^{\eta}{}_{t}\, A_i^{(k-1)}(A_j^{(k-1)} - \omega_{ji}^{(k-1)}\, A_i^{(k-1)}) \quad (۲)$$

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

$$\omega_{ji}^{(k)} = \gamma\,.\,\omega_{ji}^{(k-1)} + {}^{\eta}\, A_i^{(k-1)}(A_j^{(k-1)} - \mathrm{sgn}(\omega_{ji})\omega_{ji}^{(k-1)}\, A_i^{(k-1)}) \quad (۳)$$

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.

$$F1 = \|OC_i - T_i\| \quad (۴)$$

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, $[T_i^{min}, T_i^{max}]$ محاسبه می‌شود با:

$$T_i = \frac{T_i^{min} + T_i^{max}}{2} \quad (۵)$$

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

$$F1 = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(OC_i - T_i)^2} \quad (۶)$$

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.

$$F2 = \left|OC_i^{(t+1)} - OC_i^{(t)}\right| < e = 0.002 \quad (۷)$$

در این الگوریتم مقادیر پارامترهای η و γ از طریق خطای تست تعیین می‌شود. پس از چندین آزمایش، مقادیر ηو 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 وزنه‌ای 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 می‌شود. در نهایت، این مقادیر با استفاده از تکنیک SUM، تجمیع شده و وزن کل با روش فازی‌سازی مرکزی، تولید و به یک مقدار عددی تبدیل می‌شود و در پایان ماتریس وزن مربوطه ساخته می‌شود.

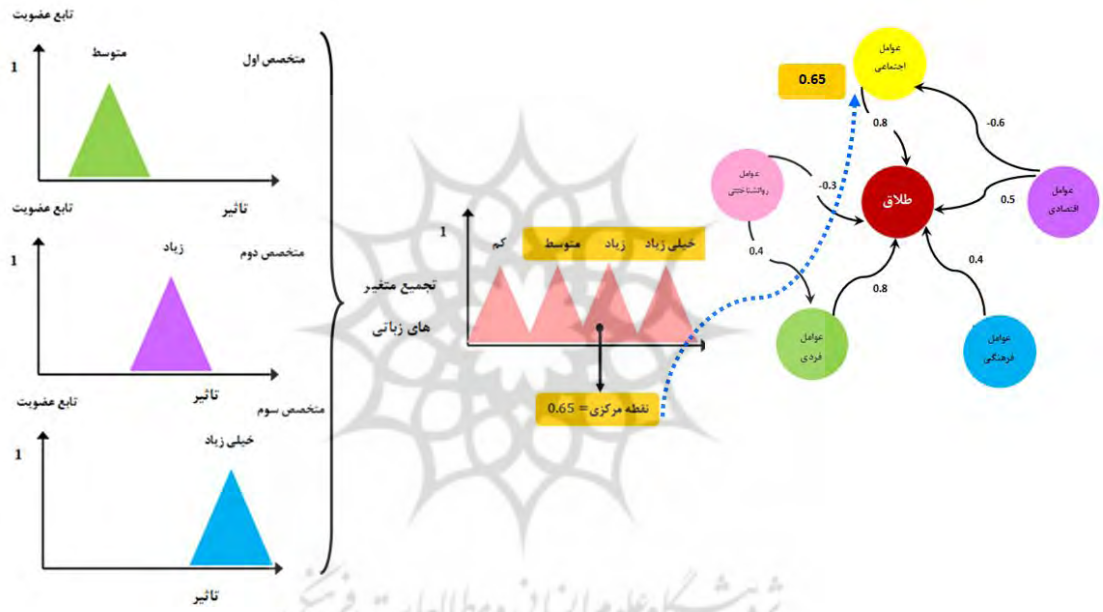
در مرحله بعد، ابتدا علامت رابطه بین دو مفهوم مشخص شده و در نهایت مقادیر عددی دو مفهوم محاسبه می‌شود. برای این منظور از پنج تابع عضویت استفاده شد. مثال زیر را در نظر بگیرید.

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 می‌شوند. سه وزن زبانی فوق (زیاد، بسیار زیاد و بسیار زیاد) با استفاده از روش SUM جمع‌آوری شده‌اند. شکل ۲ روش فازی سازی مرکز را نشان می‌دهد که برای محاسبه مقدار عددی وزن در محدوده [۱و۱-] اجرا شده است.

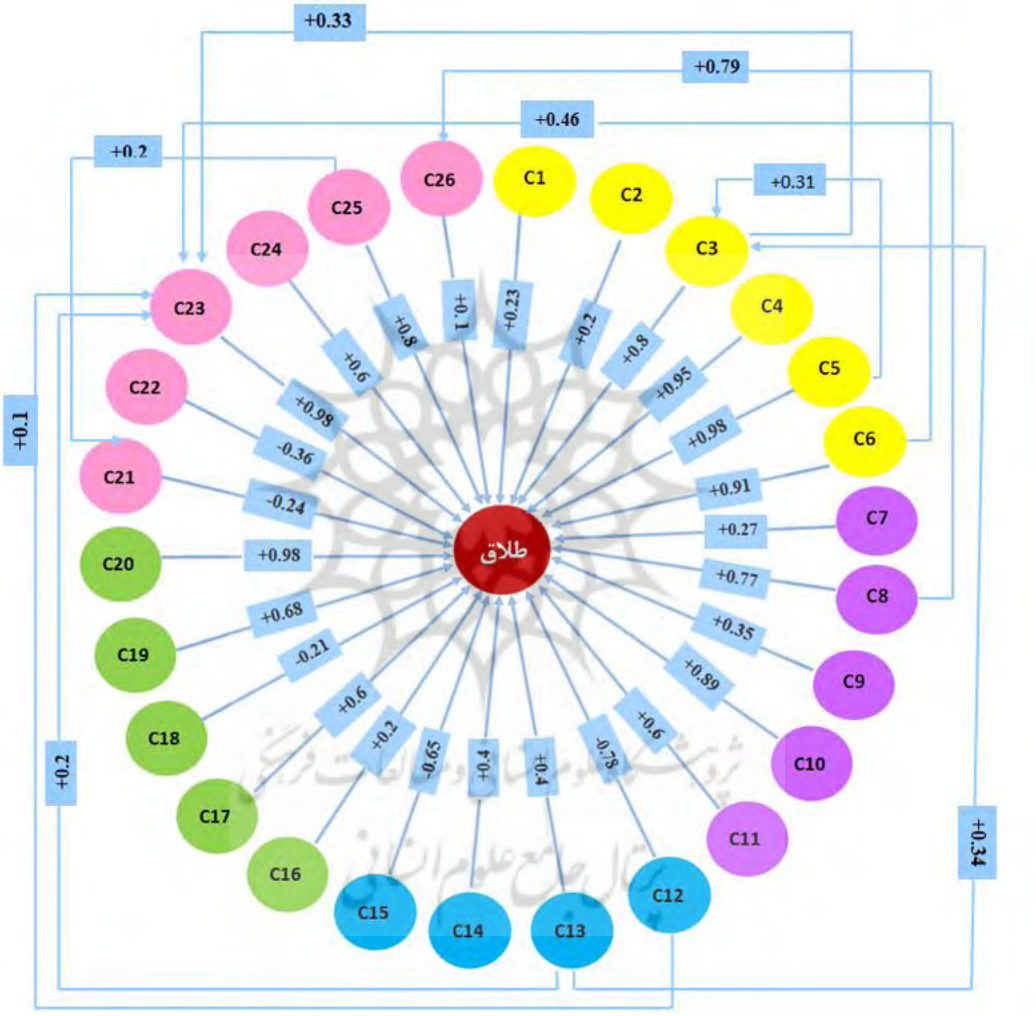


شکل ۲: تجمیع و غیرفازی‌سازی وزن‌های زبانی

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 به‌روزرسانی وزن رابطه است، هدف، ایجاد یک الگوریتم یادگیری بهبود مدل‌سازی FCM است که در نهایت، یک نقشه شناخت فازی برای عوامل مؤثر بر طلاق استخراج شد.

گره مرکزی مفهوم طلاق است که فعل‌وانفعالات را از سایر گره‌ها دریافت و جمع‌آوری می‌کند. وزن مثبت لبه نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن بر بروز پدیده طلاق و وزن منفی نشان‌دهنده نقش بازدارندگی در بروز پدیده طلاق است. از رنگ‌های زرد، بنفش، آبی و سبز برای مشخص کردن دسته‌بندی هر ویژگی یا مفهومی استفاده شد. ویژگی‌های C1 تا C6 مشخص شده با رنگ زرد به عنوان عوامل اجتماعی طبقه‌بندی شدند. رنگ بنفش برای ویژگی‌های C7 تا C11 در رده عوامل اقتصادی استفاده شد. آبی و سبز و صورتی نیز به ترتیب برای ویژگی‌های C12 تا C15 عوامل فرهنگی استفاده شد و ویژگی‌های C16 تا C20 برای دسته عوامل فردی و ویژگی‌های C21 تا C26 برای عوامل روان‌شناختی استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های یک مطالعه بر روی جمعیتی از افراد مراجعه‌کننده به دادگستری استان یزد، عوامل مؤثر بر پدیده‌ی

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 موثر 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. تجزیه‌وتحلیل 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 مقرون‌به‌صرفه 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) مدل‌سازی 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. InSociocybernetics. 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 lfow graphs versus fuzzy cognitiv. 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.