



Classification of Autism Disorder Severity Using Fuzzy Methods Based on Soft Computing

Nahid Saberipour¹, Mahdi Mazinani² and Rahil Hosseini³

1. Master of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Ghods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: saberipour.n@gmail.com
2. Corresponding author, Assistant Professor, Faculty of Engineering, Ghods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: mahdi.mazinani@qodsiau.ac.ir
3. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Ghods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: rahil.hosseini@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history: Received 2023 January 5 Received in revised form 2023 March 10 Accepted 2023 March 15 Published online 2023 March 16</p> <p>Keywords: Autism Disorder, Adaptive Neural-Fuzzy Inference System, GARS test, Genetic Algorithm, Fuzzy System.</p>	<p>A significant proportion of population in each community suffer from autism disorder. One of the challenges in diagnosing autism is the uncertainty in determining the severity of the disease. To this end, fuzzy systems based methods have been adopted in this study. The presented methods are based on 112 data driven from children and adolescents between the ages of 3 to 14 years. These data were collected from various rehabilitation centers in Tehran. The average performance accuracy of the proposed methods Using Genetic Algorithm with area under curve ROC compared to other methods (adaptive fuzzy neural inference system algorithm) proved to be 97/4% more reliable and efficient. The system designed in this article can be used as a medical diagnostics help tool for physicians.</p>

Cite this article: Saberipour, N., Mazinani, M. & Hosseini, R. (2022). Classification of Autism Disorder Severity Using Fuzzy Methods Based on Soft Computing. *Engineering Management and Soft Computing*, 8 (2). 72-91. DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5098.1126>






© The Author(s)

DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5098.1126>

Publisher: University of Qom

طبقه بندی شدت اختلال اُتیسْم با استفاده از روش های فازی مبتنی بر محاسبات نرم

ناهید صابری پور^۱ , مهدی مزینانی^۲  و راحیل حسینی^۳ 

۱. کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: saberipour.n@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده فنی مهندسی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: mahdi.mazinani@qodsiau.ac.ir

۳. استادیار، دانشکده فنی مهندسی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: rahil.hosseini@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵</p> <p>کلیدواژه‌ها: اختلال اُتیسْم، الگوریتم ژنتیک، تست گارز، سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی، سیستم فازی.</p>	<p>جمعیت قابل ملاحظه‌ای از افراد، در هر جامعه‌ای مبتلا به اختلال اُتیسْم هستند. یکی از معضلات در زمینه تشخیص اختلال اُتیسْم وجود عدم قطعیت در تعیین سطح شدت این بیماری است. بدین منظور در این پژوهش برای برطرف نمودن این مشکل روش های مبتنی بر سیستم های فازی ارائه گردیده است. روش های ارائه شده بر روی ۱۱۲ داده مربوط به کودک و نوجوان بین گروه سنی ۳ تا ۱۴ سال است. که از مراکز مختلف توانبخشی واقع در تهران جمع آوری و اعمال گردیده است. میانگین صحت عملکرد روش های مطرح شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک با میزان سطح زیر منحنی ROC 4/97 درصد از قابلیت اطمینان و کارایی بهتری در مقایسه با سایر روش های پیشنهادی (الگوریتم سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی) در این پژوهش برخوردار است. سیستم طراحی شده در این مقاله می تواند به عنوان یک روش کمک تشخیص پزشکی برای پزشکان مورد استفاده قرار گیرد.</p>

استناد: صابری پور، ناهید؛ مزینانی، مهدی و حسینی، راحیل. (۱۴۰۱). «طبقه بندی شدت اختلال اُتیسْم با استفاده از روش های فازی مبتنی بر محاسبات نرم».

مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۸ (۲)، صص: ۹۱-۷۲. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2020.5098.1126>



۱) مقدمه

اختلالی که ما با عنوان اُتیسْم^۱ با آن آشنا هستیم دسته‌ایی از اختلالات تکاملی سیستم عصبی است که از جمله خصوصیات اصلی اختلال طیف اُتیسْم براساس معیارهای پنجمین ویرایش راهنمای تشخیصی و آماری اختلال‌های روانی (DSM-5) می‌توان به (۱) نقص در ارتباط اجتماعی و (۲) رفتارها، علائق، یا فعالیت‌های تکراری و محدود اشاره نمود. زمان انتشار DSM-5 به‌طور کلی اختلال طیف اُتیسْم جایگزین اختلالات فراگیر رشد^۲ (اختلال رت، آسپرگر، اختلال از هم گسستگی کودکی، و اختلال فراگیر رشد نامعین، اختلال اُتیسْم) شده است. البته به استثنای اختلال رت که به عنوان اختلال ژنتیک مطرح شده است (گنجی ۲۰۱۵؛ ناصح ۲۰۱۲). نرخ شیوع اُتیسْم در طی سه دهه گذشته به گونه‌ی فزاینده‌ای افزایش یافته است. در سال ۲۰۰۷ شیوع اُتیسْم در ایران ۶/۲۶ و در سال ۲۰۱۴، ۹۵/۲ در ۱۰ هزار کودک گزارش شده است (اکبری بیاتانی ۲۰۱۸؛ وکیلی زاده، عابدی و محسنی اژی ۲۰۱۷). در سال ۲۰۱۴، شیوع کلی اختلال اُتیسْم در بین ۱۱ سایت نظارت بر ناتوانی‌های اُتیسْم و رشد^۳ ۱۶/۸ در ۱۰۰۰ کودک (هر ۵۹ نفر ۱ فرد) در سن ۸ سال است (ریپورت ۲۰۱۴). با توجه به آمار اعلام‌شده توسط گزارش‌های شبکه ارزیابی ناتوانی‌های اُتیسْم و تکاملی مرکز کنترل و پیشگیری از اختلالات (CDC) نشان می‌دهد در سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲، از هر ۶۸ کودک ۱ کودک در ایالات متحده از اختلال طیف اُتیسْم رنج می‌برند که نسبت به اولین آمار گزارش شده در سال ۲۰۰۲ در حدود ۱۲۳ درصدی افزایش یافته است (ریپورت ۲۰۱۴؛ راسل و مک کلکی ۲۰۱۶). یکی از روش‌های تشخیص این اختلال، روش پردازش تصویر^۴ است که به بررسی اندازه مغز می‌پردازد. لین هارت: "اگر پزشکان ارزیابی دور سر را به عنوان یک آزمون غربالگری برای اُتیسْم مورد استفاده قرار دهند، در برابر هر کودک مبتلا به اُتیسْم ۶۰ کودک غیر مبتلا و سالم را جدا خواهند کرد" (صمدی ۲۰۱۲). روش دیگر پردازش سیگنال^۵ است که به دلیل مشابه بودن سیگنال‌های مغزی کودکان مبتلا به اُتیسْم با کودکان مبتلا به صرع عوامل تفکیک کننده این دو بیماری نشانه‌های آنها است. در میان روش‌های موجود دو روش بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. پردازش تصویر و آزمون‌های تشخیصی؛ از میان این دو یافته پژوهش‌های جدید حاکی از مؤثر بودن روش آزمون‌های تشخیصی است. در سال‌های اخیر در ایران گام‌هایی برای تشخیص و درمان کودکان مبتلا به اختلال اُتیسْم برداشته شده است. بر این اساس، در این مطالعه سعی گردیده، با استفاده از آزمون گارز به طراحی و بهینه‌سازی سیستم فازی به منظور تشخیص شدت اختلال اُتیسْم پرداخته شود. با توجه به اینکه اختلال اُتیسْم یکی از اختلالات رشدی کودکان است، تشخیص هرچه سریع‌تر سطح شدت این اختلال می‌تواند کمک به انجام کارهای درمانی به‌منظور جلوگیری از پیشرفت این بیماری صورت گیرد. در ادامه به مرور کارهای انجام شده در بخش دوم اشاره شده است. در بخش سوم، روش‌ها و مدل‌های هوشمند پیشنهادی مبتنی بر فازی جهت طبقه‌بندی اختلال اُتیسْم مطرح گردیده. سپس در بخش چهارم، به بررسی نتایج پیاده‌سازی مدل‌های هوشمند پیشنهادی مبتنی بر فازی جهت تشخیص شدت اختلال اُتیسْم پرداخته می‌شود. در بخش پنجم، روش‌های

1. Autism Spectrum Disorder (ASD)
2. Disorder Developmental Pervasive
3. Autism and Developmental Disabilities Monitoring (ADDM)
4. Image Processing
5. signal processing

طراحی شده در این پژوهش مورد بحث قرار گرفته است و سپس در بخش ۶ به مقایسه روش‌های پیشنهادی با سایر پژوهش‌های انجام شده مرتبط پرداخته می‌شود. همچنین در بخش انتها نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی مطرح گردیده است.

۲) پیشنهاد پژوهش

وجود الگوریتم هوشمند از سال‌ها پیش مورد توجه قرار گرفته تا خطای ناشی از نیروی انسانی را به حداقل برساند. به عنوان نمونه می‌توان به مواردی از کارهای قابل توجه در این خصوص اشاره نمود. در این بخش به بررسی چند نمونه از روش‌های مؤثر در این زمینه پرداخته می‌شود. به عنوان نمونه‌ای از روش‌های یاد شده می‌توان به مقاله‌ای در این زمینه به منظور طبقه‌بندی و تشخیص سطوح این اختلال در هفت سطح (اختلال اُتیسْم، اختلال آسپرگر، اختلال رت، اختلال فروپاشنده دوران کودکی، اختلال نافذ رشدی، مبتلا به سندروم داون، سندروم X) اشاره نمود. که حاکی از طراحی یک سیستم تشخیص الگوی غیرخطی، با استفاده از تکنولوژی شبکه‌های عصبی است (کوهن، سودالتر، لندون-جیمنز، و کئوگ، ۱۹۹۳). در سال ۲۰۰۸ یک مدل فازی عصبی با الگوریتم آموزش پس‌انتشار برای تشخیص مبتلا بودن یا نبودن به اختلال اُتیسْم ارائه گردیده است. نرخ خطای خروجی ۰/۰۱ بوده و عملکرد کلی این مدل ۸۵ الی ۹۰ درصد است (آرتی و تامیلاراسی ۲۰۰۸). در مقاله‌ای دیگر از خانم آرتی کاناپان و پاپاگورگیو به بررسی الگوریتم یادگیری هبب^۶ در واحد غیرخطی برای آموزش روش خوشه‌بندی میانگین C به مشکل پیش بینی اختلال اُتیسْم پرداخته‌اند. در این مقاله برای پیش‌بینی اختلال اُتیسْم از ۲۴ سوال مفهومی از پرسشنامه ام-چات^۷ استفاده گردیده که صحت عملکرد سیستم برابر ۷۹/۹ درصد است (کاناپان، تامیلاراسی، و پاپاگورگیو ۲۰۱۱). در مقاله‌ای دیگر یک مدل فازی عصبی با الگوریتم خوشه‌بندی میانگین C و روش یادگیری ارت‌بری برای طبقه‌بندی اختلال اُتیسْم در سه حیطة ارتباطی، رفتاری، اجتماعی/ارتباط متقابل کلاس‌بندی شده است. دقت طبقه‌بندی محاسبه شده ۷۹/۶۲ درصد و میانگین دقت آن ۴۱/۸۹ درصد است (پاپاگورگیو و کاناپان ۲۰۱۲). در سال ۲۰۱۴ یک مدل فازی با استفاده از روش تاکاگی-سوگونو کانگ^۸ ارائه گردیده که به طبقه‌بندی خودکار درجه اختلال اُتیسْم دوران کودکی پرداخته است. این پژوهش با استفاده از آزمون تشخیصی CARS^۹ مورد بررسی قرار گرفته و میزان میانگین مربعات خطا ۰/۰۲ است (پراتاپ و همکاران ۲۰۱۴).

در سال ۲۰۱۵، یک مقاله با استفاد از دانش فرد متخصص (روانشناس بالینی) به بررسی سطح شدت اوتیستیک با استفاده از سیستم خیره فازی پرداخته، که شامل ۳۶ پرسشنامه تهیه شده از کودکان اوتیستیک است. به پیشنهاد فرد متخصص سوالات پرسشنامه شامل ۱۴ معیار براساس ارتباطات اجتماعی و رفتار تکراری محدود در نظر گرفته شده، که به بررسی ۳ سطح (خفیف، متوسط، شدید) شدت این اختلال پرداخته شده است. سیستم خیره فازی ارائه شده نشان می‌دهد که بیش از ۶۰٪ نتایج مشابه بدست آمده مشابه با نظر روانشناس بالینی است (عیسی، یوسف، خالد، طاهر، و بینتی نیکمت ۲۰۱۵). در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای با استفاده از آزمون گارز به بررسی شدت اختلال طیف اُتیسْم پرداخته شده است. هدف از این پژوهش طراحی سیستم فازی مبتنی بر دو روش جدول ارجاع و روش الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی به جهت طبقه‌بندی

6. Hebbian Learning Algorithm
7. Checklist of Autism in Toddlers(M-Chat)
8. Takagi-Sugeno Kang(TSK)
9. Childhood Autism Rating Scale (CARS)

شدت این اختلال در بین کودکان و نوجوانان گروه سنی ۳ تا ۱۱ سال است. صحت عملکرد میانگین روش های اعمال شده با استفاده از روش سیستم فازی مبتنی بر دانش فرد خبره با میزان سطح زیر منحنی ROC ۹۸/۹ درصد از قابلیت اطمینان و کارایی بالاتری در مقایسه با سایر روشهای پیشنهاد شده در این پژوهش برخوردار است (صابری پور، مزینانی و حسینی ۲۰۱۸). در سال ۲۰۱۸ با استفاده از آزمون پیشنهادی، تشخیص سریع و دقیق اتیسم (FADA) به بررسی اختلال طیف اتیسم پرداخته شده است. کارآمدی آزمون پیشنهادی با استفاده از آزمون CARS مورد بررسی قرار گرفته که با استفاده از نرم افزار SPSS و ارزیابی نهایی دو سیستم فقط با استفاده از منحنی ROC^{۱۰} انجام شده است. نتایج نشان می دهد دقت سیستم برای آزمون پیشنهادی در تشخیص افراد مبتلا به اختلال اتیسم از افراد عادی ۹۹ درصد محاسبه شده است. تعداد قوانین دو سیستم در مقاله عنوان نشده است (شرما همکاران ۲۰۱۸). در سال ۲۰۱۸ مقاله "داده کاوی فازی برای طبقه بندی اتیسم کودکان" با استفاده از برنامه موبایل ASDTests (پرسشنامه AQ-10^{۱۱}) تعداد ۵۰۹ داده از افراد سالم و مبتلا به اختلال اتیسم جمع آوری کرده و اقدام به استخراج قوانین جدید به منظور جایگزینی این قوانین جدید به جای قوانین متخصصان کرده است. سیستم ارائه شده توسط الگوریتم فازی نامرتب قانون القایی^{۱۲} دارای ۲۹ قانون است که نشان می دهد قوانین فازی FURIA قادر به شناسایی صفات اختلال اتیسم با دقت طبقه بندی ۹۱/۳۵ درصد، میزان حساسیت ۹۱/۴۰ درصد و ویژگی ۸۸/۹۹ درصد است. یکی از محدودیت های این مطالعه، بررسی گسترده ویژگی های ارزیابی داده ها و عدم در نظر گرفتن سایر مجموعه های داده ها مانند سن افراد (نوزادان، نوجوانان و بزرگسالان) است (آل-دیابات ۲۰۱۸). این مقاله بسیار مشابه با مقاله (خان و الشاره ۲۰۱۹) است. در سال ۲۰۱۹ یک سیستم کمک تشخیص پزشکی با تکیه بر روش نقشه شناختی چند لایه فازی^{۱۳} به طبقه بندی فقط دو زیر مجموعه از زیرشاخه های اختلالات فراگیر (اتیسم و سندرم اسپرگر) پرداخته است. با استفاده از دو پرسشنامه مصاحبه تشخیصی اتیسم^{۱۴} و مشاهده برنامه ریزی شده برای تشخیص در خودماندگی^{۱۵} میانگین مربعات خطا محاسبه شده ۱۰/۸ است. مشکل اصلی این روش تعریف هم ارزی متغیر مجموعه داده با مفاهیم مدل است (پورتو و همکاران ۲۰۱۹). در همان سال به منظور تشخیص سندرم اختلال اتیسم که با اختلالات ژنتیکی (سندرم رت، سندرم X شکننده، سندرم تیموتی، توپروز اسکروزیس، سندرم فلان-مک درمید) ممکن است همراه باشد و با بهره گیری از روش های یادگیری ماشین (ماشین بردار پشتیبان، پرسپترون چند لایه و درخت تصمیم گیری) به بررسی سندرم اتیسم پرداخته است. که درخت تصمیم گیری در مقایسه با سایر الگوریتم های پیشنهادی، با دقت ۹۴ درصد از عمل بهتری برخوردار است (پیریم سودا و ویجاایا، ۲۰۱۹). یکی دیگر از مقالات منتشر شده در همان سال مقاله ی "منطق فازی برای آزمایش غربالگری اتیسم" است. که برای تولید قوانین از نرم افزار سیستم منطق فازی FISPRO استفاده کرده است. این سیستم هنوز یک مطالعه شبیه سازی است و از نظر بالینی مورد آزمایش قرار نگرفته و به صحت عملکرد سیستم اشاره نشده است (ویوو و همکاران ۲۰۱۹). در سال ۲۰۱۹ در مقاله ی دیگر با تکیه بر دو روش سیستم فازی و سیستم استنتاج عصبی

10. Receiver Operating Characteristics

11. Autism Spectrum Quotient (AQ)

12. Fuzzy Unordered Rule Induction Algorithm (FURIA)

13. Multilayer Fuzzy Cognitive Map (hereafter referred to as (MFCM)

14. Autism Diagnostic Interview Revised (ADIR)

15. Autism Diagnostic Viewing Program (ADOS2)

فازی سازگار^{۱۶} به بررسی ۹۸ کودک مبتلا به اختلال اُتیسْم می‌پردازد. دقت به دست آمده از مدل ANFIS (۸۲ درصد) بهتر از مدل FIS (۸۰ درصد) است. در هر دو مورد جذر میانگین مجموعه مربعات خطا برابر ۰/۲۰۰ است. در این مدل، تعداد پارامترهای ورودی باعث پیچیدگی بیشتر سیستم گردیده است (احسان و همکاران ۲۰۱۹). در سال ۲۰۲۰ یک سیستم کمک تشخیص پزشکی با استفاده از پرسشنامه‌ی مشاهده تشخیصی اُتیسْم ADOS به بررسی روابط بین نمرات (ویژگی‌های گفتار و شدت آن) با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان^{۱۷} پرداخته است. نتایج پیش‌بینی نمره ADOS ما بین دو بخش پازل بعلاوه داستان گفتن بخشی از کتاب (بخش A) و تجسم از یک قسمت تصویر (بخش B) صورت گرفته است. که میزان جذر میانگین مربعات بخش A برابر با ۴/۴۳ و برای بخش B برابر با ۵/۸۹۹۸ است (ساکیشیتا و همکاران ۲۰۲۰).

در شش مقاله‌ی (آرتی و تامیلاراسی ۲۰۰۸؛ کوهن و همکاران ۱۹۹۳؛ عیسی و همکاران ۲۰۱۵؛ کاناپان، تامیلاراسی و پاپاگورگیو ۲۰۱۱؛ پاپاگورگیو و کاناپان ۲۰۱۲؛ ساکیشیتا و همکاران ۲۰۲۰؛ شارما و همکاران ۲۰۱۸) مورد بحث قرار گرفته فوق می‌توان به کوچک بودن جامعه‌های آماری (به ترتیب مقالات ۶۹، ۴۰، ۳۶، ۲۳، ۴۰، ۸۰، ۳۱ داده) اشاره نمود. از سایر مطالعات صورت گرفته می‌توان به برخی از منابع بر مبنای استاندارد قدیمی DSM یا ICD^{۱۸} اشاره نمود (احمدلو، عادل و عادل ۲۰۱۲؛ عیسی و همکاران ۲۰۱۵؛ آرتی و تامیلاراسی ۲۰۰۸؛ کوهن و همکاران ۱۹۹۳؛ اکبر و همکاران ۲۰۱۰؛ کاناپان، تامیلاراسی و پاپاگورگیو ۲۰۱۱؛ پورتو و همکاران ۲۰۱۹؛ شمس، وهاب و کیدوی ۲۰۱۲؛ شارما و همکاران ۲۰۱۸) به عنوان مثال مقاله‌ی (پورتو و همکاران ۲۰۱۹؛ شرما و همکاران ۲۰۱۸) با توجه به اینکه در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ مورد انتشار قرار گرفته‌اند از استانداردهای قدیمی در طراحی سیستم‌ها استفاده شده است. با توجه به آزمون‌های غربالگری و تعاریف جدید ارائه شده توسط ICD و CDC^{۱۹} و با اشاره به مقالات (ساکیشیتا و همکاران ۲۰۲۰؛ احسان و همکاران ۲۰۱۹؛ شرما و همکاران ۲۰۱۸) به این نکته می‌توان اشاره نمود که برخی از سوالات مطرح شده در آزمون‌ها با معیارهای کلی فرهنگی و اجتماعی تمامی کشورهای همخوانی ندارد. به این دلیل بهتر است که از آزمون‌های بومی‌سازی شده در این زمینه استفاده گردد. کودکان مبتلا به اختلال اُتیسْم افرادی با عملکردهای ذهنی متفاوت هستند. به طوری که شیوه‌های برقراری ارتباط، تعامل، رفتار کردن و یاد گرفتن آن‌ها با افراد دیگر متفاوت است. و ممکن است سرعت یادگیری در این افراد بسیار کند و حتی پسرفت هم داشته باشد. در نتیجه برای ارزیابی دقیق شدت این اختلال نیازمند به تعیین سطح دقیق‌تر و حساس‌تری از این اختلال است. با توجه به پژوهش‌های پیشین صورت گرفته (الدابات ۲۰۱۸؛ پاپازه ارگیو و کاناپ ۲۰۱۲؛ پورتو و همکاران ۲۰۱۹) در این زمینه تمامی روش‌ها به بررسی ۳ الی ۴ سطح شدت این اختلال پرداخته‌اند. چالش اساسی در روش، مدل نمودن عدم قطعیت در تعیین سطح شدت این اختلال است. در مقاله‌های (خان و الشارا ۲۰۱۹b؛ پاپاگورگیو و کاناپ ۲۰۱۲) که به دسته‌بندی کودکان سالم و کودکان مبتلا به اختلال اُتیسْم می‌پردازد. امکان بروز خطا در تشخیص اولیه این بیماری وجود دارد به عنوان مثال به دلیل اینکه افراد مبتلا به اختلال طیف اُتیسْم و افراد مبتلا به اسکیزوفرنی، علائم و نشانه‌های اجتماعی غیر عادی دارند. که میزان شدت علائم و سن افراد در تشخیص اختلال اُتیسْم از اسکیزوفرنی بسیار مهم است (گامبینی، بارییری، و اسکارون ۲۰۰۴).

16. adaptive neuro-fuzzy inference system Or adaptive network-based fuzzy inference (ANFIS)

17. Support vector machine (SVM)

18. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems

19. Centers for Disease Control and Prevention

(۳) روش شناسی پژوهش

سیستم های فازی با مجموعه های مات فازی با مرزهای نادقیق عدم قطعیت را مدل می کند. تئوری مجموعه های فازی قابلیت انجام محاسبات بر اساس متغیرهای زبانی متناظر با تابع عضویت را دارد. این نظریه در شرایط عدم قطعیت قادر است به بسیاری از مفاهیم و متغیرهای سیستم هایی که نادقیق هستند شکل ریاضی دهد. در این پژوهش به معرفی و طراحی الگوریتم سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی و الگوریتم ژنتیک پرداخته خواهد شد. نظر به آنکه تشخیص به موقع و زود هنگام شدت اختلال اتیسم چالش اساسی این پژوهش است و این امر با عدم قطعیت بالا روبرو است، این پژوهش سعی در آن دارد تا با ارائه یک سیستم استنتاج فازی، مسئله را بهینه سازی و با مدل نمودن عدم قطعیت، به تشخیص شدت اختلال اتیسم با استفاده از مقیاس درجه بندی اتیسم گیلیام پردازد. ابزارهای متعددی برای غربالگری کودکان مبتلا به اتیسم طراحی شده است. از مهمترین این ابزارها می توان به مقیاس درجه بندی اتیسم گیلیام^{۲۰} اشاره کرد که دارای چهار خرده مقیاس رفتارهای کلیشه ای، ارتباط اجتماعی، تعامل اجتماعی و اختلالات رشدی بود که هر کدام از ۱۴ سوال تشکیل شده است. آخرین ویرایش مقیاس رتبه بندی اتیسم گیلیام در سال ۲۰۱۳ ارائه گردید DSM-V است.

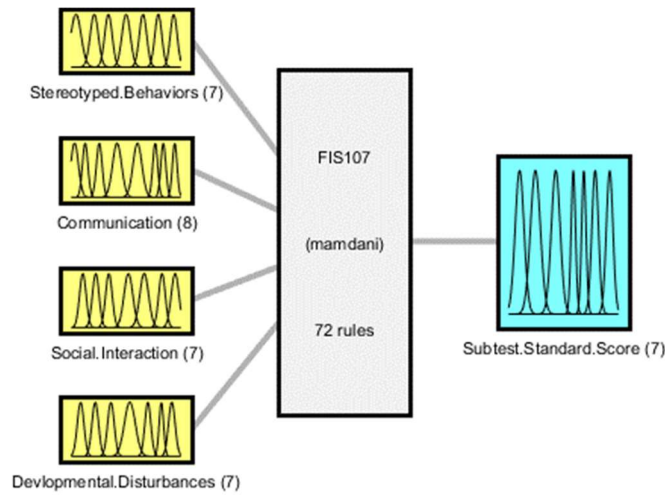
(۴) مدل پیشنهادی سیستم فازی جهت طبقه بندی اختلال اتیسم

جامعه آماری پژوهش شامل تمام کودکان ۳ تا ۱۴ سال های بود که به مراکز " بنیاد خیریه کودکان اتیسم " و " مرکز باور " در تهران مراجعه کرده و توسط متخصصان مراکز، تشخیص اتیسم را گرفته بودند. پس از تماس تلفنی با مراکز و بیان شرایط خاص پژوهش منی بر حضور الزامی والدین برای انجام تعیین سطح این اختلال هماهنگی های لازم به عمل آمد. نمونه ها شامل ۱۱۲ کودک و نوجوان (نسبت دختران به پسران یک ششم) است، که در سال ۹۵-۹۴ گرد آوری شده است. ورودی های سیستم فازی شامل ۴ متغیر زبانی (رفتارهای کلیشه ای، ارتباطات، تعامل اجتماعی، رشد و تکامل) و هر کدام شامل ۷ الی ۸ عبارت زبانی (خیلی خفیف، خفیف، پایین تر از متوسط، متوسط، بالای متوسط شدید، شدید، خیلی شدید) است (شکل ۱). که توسط متخصص و دفترچه راهنمای تست تنظیم و تعیین گردیده است. خروجی سیستم فازی شامل: خیلی خفیف، خفیف، پایین تر از متوسط، متوسط، بالای متوسط شدید، شدید، خیلی شدید است (شکل ۲). با استفاده از جدول راهنمای تفسیر در دفترچه راهنمای تست توسط متخصص تنظیم و تعیین شده است. توابع فازی از نوع گوسین در نظر گرفته شده، که یک تابع عضویت گوسین با دو پارامتر $\{C, \sigma\}$ به شکل زیر تعریف می شود.

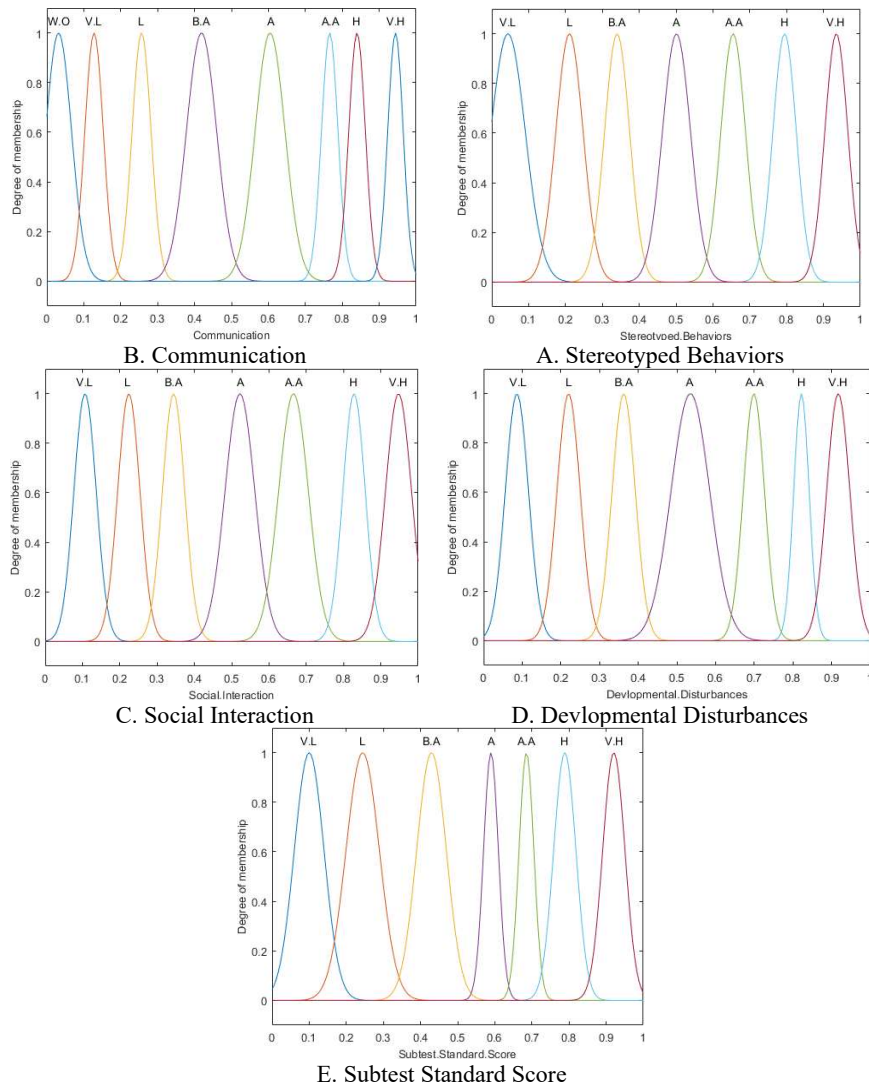
$$\text{Gaussian}(x; C, \sigma) = e^{-(x-C)^2 / 2\sigma^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

یک تابع عضویت گوسین به صورت کامل با پارامترهای C, σ مشخص می شود. پارامتر C مشخص کننده مرکز تابع عضویت و σ بیانگر پهنای آن است. نمودار زیر یک تابع عضویت گوسین با مشخصات $(x; 5, 20)$ را نشان می دهد. در این پژوهش به دلیل نرمال در نظر گرفتن متغیرهای ورودی از تابع گوسین استفاده گردیده است. عبارت های زبانی، متغیرهای ورودی و خروجی با استفاده از سه جدول موجود در دفترچه راهنمای تست تعریف و مقدار دهی اولیه شده است.

^{۲۰} مقیاس رتبه بندی اتیسم گیلیام (GARS; Gilliam Autism Rating Scale)



شکل ۱: ورودیها و خروجیهای متغیرهای زبانی سیستم فازی با استفاده از دانش فرد خیره

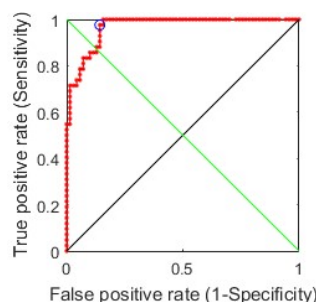


شکل ۲. نمودارهای ورودی و خروجی سیستم فازی مبتنی بر دانش فرد خیره (نمودار A: رفتارهای کلیشه‌ای، B: ارتباطات، C: تعامل اجتماعی، D: رشد و تکامل، E: خروجی سیستم)

با توجه به محاسبات صورت گرفته شده، مشخصات سیستم طراحی شده مطابق با جدول ۱ است. در شبیه سازی انجام شده میانگین مربعات خطا²¹ برابر با ۰/۰۱۳ و جذر میانگین مجموعه مربعات خطا²² ۰/۱۱۴۲ است. نمودار ۱ سطح زیر نمودار منحنی مشخصه عملکرد مربوط به سیستم فازی است. همچنین جدول ۲ ماتریس ابهام سیستم فازی را نشان می دهد که میزان خطای محاسبه شده با استفاده از این روش نسبت به سایر روش های پیشنهادی مقدار قابل قبولی است. نتایج ذکر شده در جدول ۲ نشان می دهد که سیستم فازی پیشنهادی طی ارزیابی با نمودار منحنی مشخصه عملکرد سیستم، چه تعدادی را تشخیص درست و یا غلط داده است.

جدول ۱. مشخصات مدل سیستم فازی با استفاده از دانش فرد خبره

name: 'FIS107'
type: 'mamdani'
andMethod: 'min'
orMethod: 'max'
defuzzMethod: 'centroid'
impMethod: 'min'
aggMethod: 'sum'
input: [1×4 struct]
output: [1×1 struct]
rule: [1×72 struct]



نمودار ۱. نمودار منحنی ROC مدل سیستم فازی با استفاده از دانش فرد خبره

جدول ۲. جدول ماتریس ابهام مدل سیستم فازی

	True Positive	True Negative
Predicted Positive	41	10
Predicted Negative	1	60

۵) مدل پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی جهت تشخیص شدت اختلال اتیسم

نتایج حاصل از طبقه بندی شدت اختلال اتیسم با استفاده از الگوریتم سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی از سه روش تقسیم بندی جدولی^{۲۳}، خوشه بندی کاهشی^{۲۴} و خوشه بندی میانگین C در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی یک سیستم فازی از روی داده های ورودی و خروجی تست گارز که فقط یک خروجی دارند مورد بررسی و محاسبه قرار گرفته است. در روش طراحی تقسیم بندی جدولی با مشخص نمودن تعداد خوشه ها و نوع توابع

21. Mean Squared Error
 22. Root Mean Squared Error
 23. Grid Partition
 24. Subtractive Clustering

ورودی و خروجی مطابق جدول ذیل، با پارامترهای مختلف که از بین ۳۰ بار اجرای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته شده است دو اجرای مختلف آن مطابق با جدول ذیل است. نحوه‌ی تنظیم پارامترهای سیستم فازی با استفاده از مدل سوگنو و روش میانگین وزنی مورد بررسی و محاسبه قرار گرفته است. به صورت کلی تعداد قوانین و تعداد خروجی‌های تولید شده در جدول ۳ و ۴ به تعداد ۲۴۰۱ مورد است.

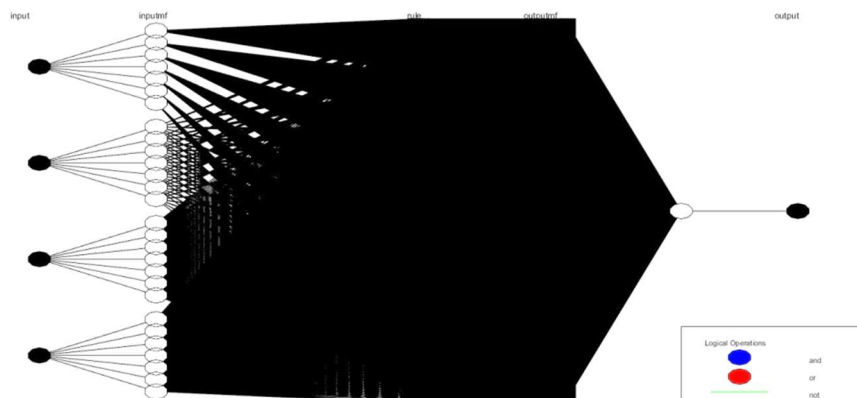
جدول ۳: جدول تنظیم پارامترهای ورودی با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

اجرای شماره	تعداد کلاسترها	تعداد دوره آموزشی ^{۲۰}	شرط خاتمه	اندازه اولیه گام	نرخ کاهش اندازه گام	نرخ افزایش اندازه گام
۱.	7	200	0	0.001	0.01	0.05
۲.	7	400	0	0.001	0.01	0.04

جدول ۴: جدول پارامترهای خروجی با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

اجرای شماره	MSE		RMSE		Mean	
	Test	Train	Test	Train	Test	Train
۱.	0.218	4.132e-13	0.082	6.428e-07	0.287	0.025
۲.	0.180	1.703e-12	0.056	1.304e-06	0.236	0.017

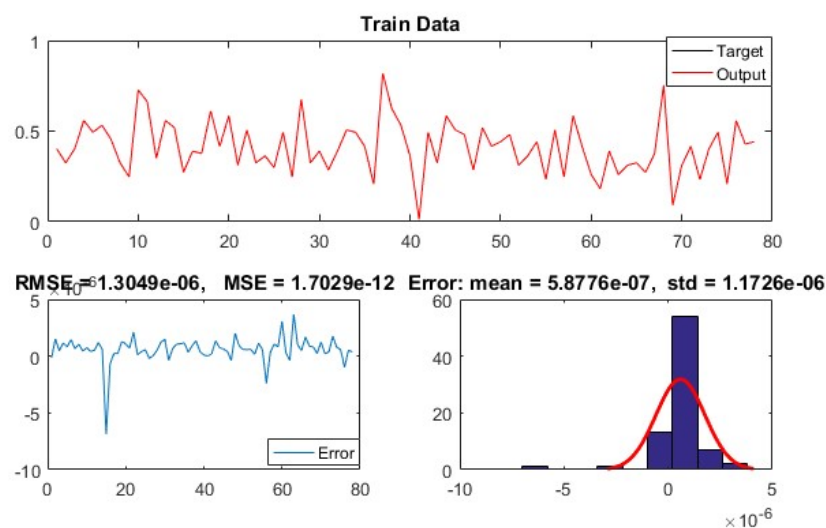
بر این اساس برای داده‌های موجود در این مدل، هفت تابع عضویت گوسین با چهار پارامتر تنظیم پذیر غیرخطی و ۴۰۰ دوره آموزش به کار رفته است که با توجه به چهار ورودی، تعداد قوانین برابر با $۷^۴ = ۲۴۰۱$ خواهد بود. از آنجایی که تابع گوسین شامل دو پارامتر است تعداد پارامترهای تنظیم پذیر غیرخطی برابر $۲ \times ۴ \times ۷ = ۵۶$ بدست آمده است.



شکل ۳. ورودی و خروجی سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

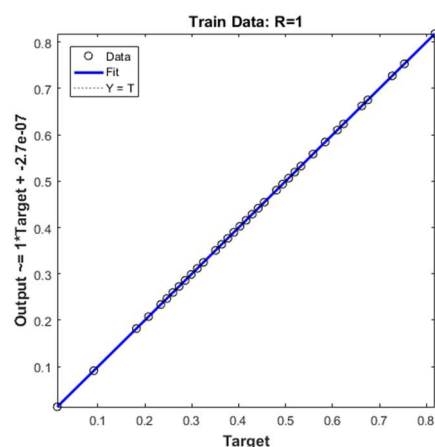
همان طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود تعداد نمونه‌های آموزشی محاسبه شده بین بازه ۰ تا ۸۰ است و میزان خطای سیستم طراحی شده برای داده‌های آموزشی $۴/۳۹۷e-۰۹$ با انحراف معیار در بازه مثبت و منفی $۱/۱۷۳e-۰۶$ است. یعنی در

حدود ۶۴ درصد داده ها در این بازه قرار می گیرند. به ازاء ۷۰ درصد از این اطلاعات، خطا زیر مقدار 1.7029×10^{-12} گردیده است.



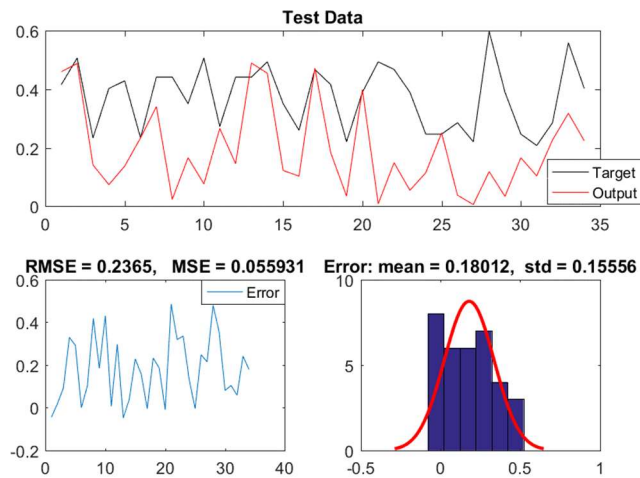
نمودار ۲: نمودار های خروجی داده های آموزش مربوط به استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

در نمودار ۳ میزان شیب خط ۱، میزان خطای آن 2.7×10^{-7} و میزان دقت آن ۱ است.



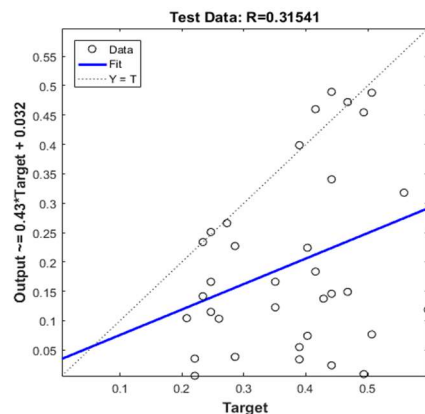
نمودار ۳: رگرسیون مربوط به داده های آموزشی، با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

همان طور که در نمودار ۴ مشاهده می شود تعداد داده های آزمون مورد محاسبه قرار گرفته شده بین بازه ۰ تا ۳۵ است و میزان خطای سیستم طراحی شده برای داده های آزمون 0.0559 و میزان انحراف معیار در بازه مثبت و منفی 0.1556 است. یعنی در حدود ۸۸ درصد داده ها در این بازه قرار می گیرند. به ازاء ۹۳ درصد از این اطلاعات، خطا زیر مقدار 0.0559 گردیده است.



نمودار ۴: نمودارهای خروجی داده‌های آزمون مربوط به استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

در نمودار ۵ میزان (شیب ۰/۴۳، میزان خطای ۰/۰۳۲) و دقت محاسبات ۰/۳۱۵ است.

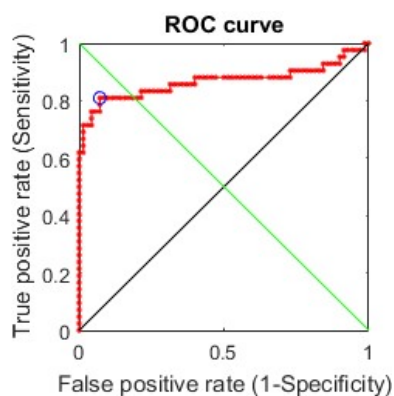


نمودار ۵: رگرسیون مربوط به داده‌های آزمون، با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

با توجه به محاسبات صورت گرفته، مشخصات سیستم طراحی شده مطابق با جدول ۳ است. تعداد قوانین و تابع عضویت برای طبقه بندی سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از روش خوشه بندی کاهشی برای بهینه سازی با استفاده از روش Hybrid آموزش داده شده است. در شبیه سازی انجام شده میزان خطای MSE برابر است با ۰/۰۱۷ و RMSE برابر است با ۰/۱۳۰ است.

جدول ۵. مشخصات مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از روش تقسیم بندی جدولی

تعداد گره: ۴۸۶۵
تعداد پارامترهای خطی: ۲۴۰۱
تعداد پارامترهای غیر خطی: ۵۶
تعداد پارامترها: ۲۴۵۷
تعداد داده‌های آموزشی: ۷۸
تعداد داده‌های آزمون: ۳۴

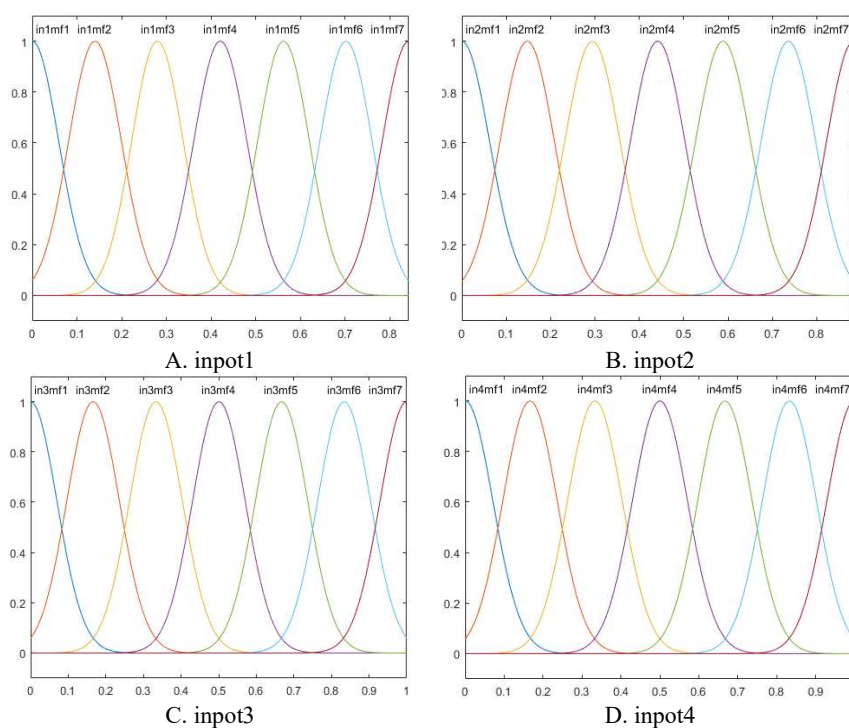


نمودار ۶. نمودار منحنی ROC سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی به روش تقسیم بندی جدولی

نمودار ۶ سطح زیر نمودار منحنی مشخصه عملکرد مربوط به سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی به روش تقسیم بندی جدولی است. میزان خطای محاسبه با استفاده از این روش بسیار بالا است.

جدول ۶. جدول ماتریس ابهام مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی به روش تقسیم بندی جدولی

	True Positive	True Negative
Predicted Positive	34	5
Predicted Negative	8	65



شکل ۳: نمودارهای ورودیهای روش تقسیم بندی جدولی

۶) الگوریتم ژنتیک

در این تحقیق برای اولین بار از الگوریتم ژنتیک و مقیاس درجه‌بندی اُتیسیم گیلیام برای طبقه‌بندی شدت اختلال طیف اُتیسیم کودکان و نوجوانان مبتلا به اختلال اُتیسیم مورد استفاده قرار گرفته‌است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند کیفیت جواب‌هایی که تاکنون توسط محققین قبلی ارائه شده است بهبود بخشد.

الگوریتم ژنتیک براساس سیستم طبیعی وراثت و در جهت بهبود نژاد طراحی می‌شوند. در این سیستم‌ها جمعیتی به عنوان پاسخ‌های بالقوه مسئله در نظر گرفته شده و با استفاده از یک سری عملگردهای ژنتیکی و با توجه به مقدار سازگاری Fitness هر عضوی از این جمعیت با تابع هدف Objective function، سعی می‌شود از هر جمعیت (نژاد)، جمعیت بهبود یافته‌ای به دست آید (خان محمدی و جاسبی ۲۰۱۱).

در روش طراحی سیستم فازی ژنتیک با مشخص نمودن اندازه جمعیت اصلی، شرط خاتمه، ضریب انتخاب اندازه جمعیت فرزندان از جمعیت اصلی، ضریب انتخاب اندازه جمعیت فرزندان، ضریب انتخاب اندازه جمعیت جهش‌یافتگان از جمعیت اصلی، به منظور انتخاب اعضای جمعیت جدید میزان ضعیف بودن یک عنصر از یک عنصر دیگر یک پارامتر به نام بتا تعریف می‌گردد، اپراتور mutation برای به وجود آوردن فرزند و پارامتر گاما مطابق با جدول ذیل بعد از تنظیم پارامترهای نام برده شده بعد از هشت بار اجرا، با پارامترهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به تنظیمات صورت گرفته کمترین میزان خطای محاسبه شده میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۰۴۹ و جذر میانگین مجموعه مربعات خطا ۰/۰۶۹۷ است. همچنین مقادیر مختلف انتخاب شده برای تعیین نرخ مناسب ترکیب و جهش در الگوریتم ژنتیک در جدول ۷ آمده است. نتایج حاصل از ارزیابی مدل فازی ژنتیک پیشنهادی با معیارهای مشخصه عملکرد سیستم روی کل نمونه‌ها (نمودار تابع هدف نسبت به تعداد دفعات فراخوانی تابع هدف) در نمودار ۷ قابل مشاهده است.

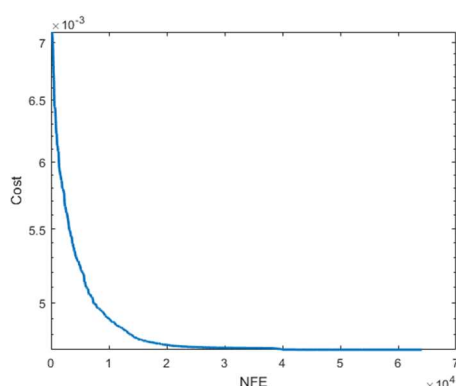
جدول ۷. جدول تنظیم پارامترهای ورودی و خروجی سیستم فازی ژنتیک

	پارامترهای ورودی سیستم ژنتیک								NFE
	Best fitness	Beta	Mutation	Gamma	Pm	Pc	Max Iteration	NPop	
۱.	0.0047	0.6	0.125	0.6	0.005	0.8	800	99	
۲.	0.0048	0.6	0.125	0.6	0.005	0.8	400	99	
۳.	0.0048	0.6	0.125	0.5	0.005	0.8	400	90	
۴.	0.0048	0.5	0.125	0.6	0.005	0.8	400	90	

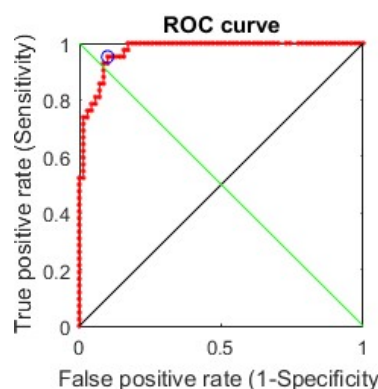
با توجه به نمودار ۷ سطح زیر نمودار منحنی مشخصه عملکرد مربوط به الگوریتم ژنتیک پیشنهادی است.

جدول ۸. جدول ماتریس ابهام مدل الگوریتم ژنتیک

	True Positive	True Negative
Predicted Positive	40	7
Predicted Negative	2	63



نمودار ۸: نمودار تابع هدف نسبت به تعداد دفعات فراخوانی تابع هدف



نمودار ۷: نمودار منحنی ROC الگوریتم ژنتیک

۷ یافته‌های پژوهش (مقایسه روش های طراحی شده در این پژوهش)

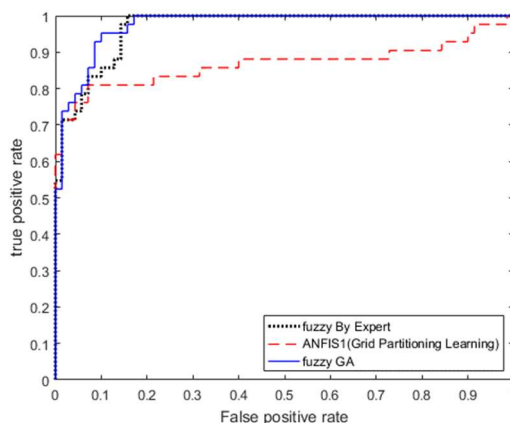
مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش شامل سیستم فازی، سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی و الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب طراحی و پیاده‌سازی شده و از روش تحلیل منحنی ROC برای ارزیابی سطح زیر منحنی به عنوان معیار کارایی برای مقایسه عملکرد آنها استفاده گردیده است. در طراحی سیستم فازی مبتنی بر دانش فرد خبره، تعداد قوانین ایجاد شده به دلیل در نظر گرفتن قوانین مختص به جامعه آماری گردآوری شده توابع عضویت مذکور را قبل از بهینه‌سازی نمایش می‌دهد. میزان خطای MSE این روش ۱/۳ درصد است (مطابق با جدول ۹). که نسبت به روش سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از روش تقسیم‌بندی جدولی به مقدار ۰/۴ درصد کمتر است. این روش نسبت به روش سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از روش تقسیم‌بندی جدولی دارای زمان اجرای کمتری و تعداد قوانین کمتری بوده و دارای میزان خطای بیشتر نسبت به روش الگوریتم ژنتیک است. با توجه به پیاده‌سازی‌های صورت گرفته شده در روش سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی با استفاده از روش خوشه‌بندی کاهشی و خوشه‌بندی میانگین C به دلیل همپوشانی زیاد توابع عضویت در ورودی‌ها، روش‌های مناسبی نیستند. با توجه به روش‌های به کار گرفته شده روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک با میزان سطح زیر منحنی ROC ۹۷/۴ درصد کارایی بالاتری نسبت به روش‌های پیشنهادی برخوردار است.

جدول ۹. جدول ارزیابی روش‌های مبتنی بر فازی پیشنهاد

روش	مدل	تعداد قوانین	MSE	ROC (AUC)%	S.E.%	C.I.	Sensitivity	Specificity
FIS Lookup table rule extraction	ممدانی	72	0.013	0.968	0.020	[0.929 1.006]	0.976	0.857
Fuzzy GA	ممدانی	72	0.0049	0.974	0.018	[0.940 1.009]	0.952	0.9
ANFIS(Grid Partitioning Learning)	سوگنو	2401	0.017	0.867	0.038	[0.791 0.942]	0.809	0.928

همانگونه که در نمودار همگرایی سیستم زیر مشخص است بهترین عملکرد مربوط به سیستم فازی ژنتیک است (نمودار ۹). الگوریتم ژنتیک به دلیل رفتار هوشمندانه مبتنی بر الگوریتم متاهوریستیک تکامل در جستجو فضای حالت

بزرگ، از میزان خطای بسیار کمتری از روش سیستم فازی برخوردار است. به دلیل سادگی، کمتر بودن میزان پیچیدگی و مدت زمان اجرای کمتر روش الگوریتم ژنتیک نسبت به روش سیستم فازی از کارایی بالاتری برخوردار است.



نمودار ۹: نمودار ROC مدل های پیشنهادی در پژوهش حاضر

۸) مقایسه روش های پیشنهادی با سایر پژوهش انجام شده مرتبط

با توجه به پژوهش های صورت گرفته شده این نخستین بار است که با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بررسی شدت اختلال اُتیسم در ۷ سطح پرداخته شده است. سایر پژوهش های صورت گرفته شده در تعیین سطح شدت این اختلال حداکثر به بررسی شدت این اختلال در ۴ سطح (کودک طبیعی، خفیف، متوسط، شدید) پرداخته اند، که در این زمینه می توان به مقاله های (پراتاپ و همکاران ۲۰۱۴؛ شرما همکاران ۲۰۱۸؛ احسان و همکاران ۲۰۱۹) اشاره نمود. در مقاله "سیستم پشتیبانی ارزیابی اُتیسم مبتنی بر فازی عملکردی" (پراتاپ و همکاران ۲۰۱۴) به بررسی شدت اختلال اُتیسم در ۴ سطح با استفاده از سیستم فازی مدل فازی تاکاگی سوگنو و آزمون تشخیصی کارز^{۲۶} می پردازد. ورودی های سیستم فازی شام ۱۵ متغیر زبانی و هر کدام از متغیرهای زبانی ورودی دارای ۴ عبارت زبانی است. با توجه به تعداد کل ضریب حالات ایجاد شده $4^{15} \times 4 = 4294967296$ با استفاده از روش تاکاگی سوگنو تعداد قوانین به ۱۵ قانون کاهش یافته است. میزان خطای محاسبه شده در این سیستم با استفاده از روش ارزیابی کارایی MSE برابر است با ۰/۰۲ می باشد.

در مقاله "بررسی شاخص های روانسنجی آزمون تشخیصی اُتیسم (GARS)" (خلیلی و همکاران ۲۰۱۲) به بررسی تفاوت بین تست گارز و سایر آزمونهای غربالگری پرداخته که شامل تست کارز هم می شود. این پژوهش به این نکته اشاره کرد که مقیاس تشخیصی اُتیسم گیلیام (گارز) ابزاری پایا نسبت به سایر آزمونها برای تشخیص و غربال اُتیسم است. دلیل این امر پایایی در بین نمره گذاران و نوع ساختار این تست است.

در این پژوهش به بررسی عدم قطعیت در ساختار و تعیین مرز نادقیقی و نایقینی برای مشخص کردن ۷ سطح (خیلی خفیف، خفیف، پایین تر از متوسط، متوسط، بالای متوسط شدید، شدید، خیلی شدید) با استفاده از آزمون تشخیصی گارز^{۲۷}

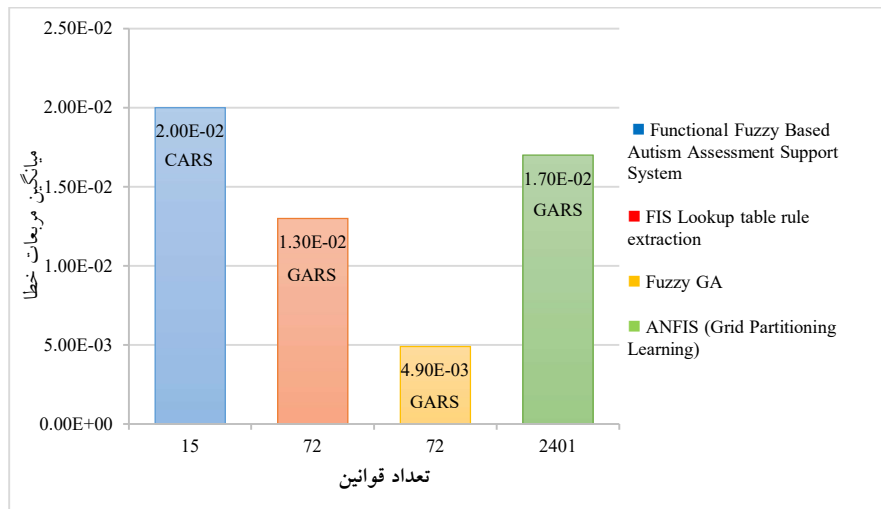
۲۶. این آزمون تشخیصی و غربالگری اوتیسم در سال ۱۹۸۸ توسط اسپچرلر تهیه شده (CARS)

۲۷. این آزمون توسط گیلیام در سال ۱۹۹۴ طراحی و هنجار شده (GARS)

پرداخته شده است. تعداد کل ضریب حالات ایجاد شده برای سیستم فازی پیشنهادی $8 \times 7^4 = 19208$ است. میزان خطای محاسبه شده شدت اختلال اُتیسیم توسط الگوریتم ژنتیک، مدل ممدانی با توابع گوسین که دارای ۴ متغیر زبانی و هر کدام از متغیرهای زبانی دارای ۷ الی ۸ عبارت زبانی، خروجی شامل ۷ عبارت زبانی و تعداد قانون تولید شده با استفاده از این روش ۷۲ قانون است، که نسبت به تعداد قوانین ایجاد شده با استفاده از روش ارائه شده در مقاله نام برده ۵۷ قانون بیشتر است. در نتیجه پیچیدگی سیستم افزایش یافته و میزان خطا در این سیستم MSE برابر است با 0.0049 گردیده که نسبت به مقاله نام برده شده میانگین مربعات خطا 0.0151 کاهش یافته است. از جمله پژوهش های دیگر انجام شده می توان به مقاله "پیش بینی سطح شدت اُتیسیم در بنگلادش با استفاده از منطق فازی: FIS و ANFIS" (احسان و همکاران ۲۰۱۹) اشاره نمود، که به بررسی دو روش سیستم استنتاج فازی (FIS) و سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار (ANFIS) می پردازد. تعداد کودکان مورد ارزیابی با استفاد از این روش ۹۸ کودک مبتلا به اختلال اُتیسیم است. ورودی های سیستم فازی شامل ۱۰ متغیر زبانی (قابلیت درک، ارتباط چشمی، قابلیت تعامل با سایر کودکان، تشخیص کیت بازی، به وسایل علاقه مند هستید، پاسخگویی، حساس به سر و صدا، بازی وانمود کنید یا باور کنید، حرکات انگشت بی معنی است، توانایی جلب توجه) و هر کدام شامل ۴ عبارت زبانی (خیلی کم، کم، متوسط، شدید) است. خروجی سیستم فازی شامل ۳ عبارت زبانی (کم، متوسط، شدید) است. تعداد ۶۵ قانون برای ارزیابی خروجی سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اما تعداد قوانین روش سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار در مقاله مطرح نشده و از روی اطلاعات عنوان شده در مقاله می توان نتیجه گرفت تعداد کل ضریب حالات ایجاد شده برای پیاده سازی $4 \times 15^4 = 4294967296$ قانون است. دقت به دست آمده از مدل ANFIS (۸۲ درصد) بهتر از مدل FIS (۸۰ درصد) است. در هر دو مورد RMSE برابر 0.200 است.

در این پژوهش با استفاده از روش سیستم فازی مبتنی بر دانش فرد خبره و بررسی اطلاعات ۱۱۲ کودک مبتلا به اختلال اُتیسیم RMSE برابر 0.1142 محاسبه شده است. که خطای کمتری نسبت به روش سیستم استنتاج فازی مقاله (احسان و همکاران ۲۰۱۹) برخوردار است. میزان خطا با استفاده از روش پیشنهادی 0.0858 کاهش یافته است. همچنین روش تقسیم بندی جدولی پیشنهادی با میزان RMSE برابر 0.1303 خطای کمتری نسبت به روش سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار در مقاله (احسان و همکاران ۲۰۱۹) برخوردار است. تعداد ۷ قوانین سیستم فازی مبتنی بر دانش فرد خبره پیشنهاد با تعداد ۱۱۲ نمونه در این پژوهش بیشتر از تعداد قوانین روش سیستم استنتاج فازی مقاله (احسان و همکاران ۲۰۱۹) با تعداد ۹۸ نمونه برخوردار است.

مقاله "تشخیص سریع و دقیق اُتیسیم (FADA): ابزاری برای شناسایی اُتیسیم مبتنی بر سیستم فازی سلسله مراتبی" به بررسی اختلال اُتیسیم با توجه به خصوصیات نقص در ارتباط اجتماعی و رفتارها/ارتباطات پرداخته است. تعداد نمونه های مورد بررسی در این پژوهش ۴۰ کودک عادی و ۴۰ کودک مبتلا به اختلال اُتیسیم است. آزمون پیشنهادی FADA از همخوانی بالایی با آزمون CARS برخوردار است (شرما همکاران ۲۰۱۸). تعداد نمونه های جمع آوری شده از کودکان مبتلا به اختلال اُتیسیم برای ارزیابی شدت این اختلال بسیار کم است. تعداد قوانین و میزان خطای هر دو سیستم با استفاده از میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مجموعه مربعات خطا در مقاله عنوان نشده است. هدف از این مقاله مقایسه ای عملکرد آزمون پیشنهادی FADA با آزمون CARS است.



نمودار ۱۰: نمودار میانگین مربعات خطا نسبت به تعداد قوانین

با توجه به نمودار ۱۰ کاملاً روشن است که با توجه به افزایش تعداد قوانین و تغییر در ساختار تعداد متغیرهای زبانی ورودی/خروجی و بدون استفاده از روش تاکاگی سوگنو میزان خطای محاسبه شده توسط الگوریتم ژنتیک سیار کاهش یافته است.

جدول ۱۰. مقایسه روش پیشنهادی با کارهای مرتبط

عنوان	مدل	تعداد قوانین	تعداد نمونه‌های ارزیابی شده	MSE	RMSE	مدت زمان اجرا برنامه
Prediction of autism severity level in Bangladesh using fuzzy logic: FIS and ANFIS (یافته‌های دیگر محققین)	ممدانی	۶۵	۹۸	---	۰/۲۰۰	---
	سوگنو	---	۹۸	---	۰/۲۰۰	---
Functional Fuzzy Based Autism Assessment Support System (یافته‌های دیگر محققین)	سوگنو	۱۵	۱۰۰	۰/۰۲	۰/۱۴۱۴	۰۰:۰۰:۳۶
FIS Lookup table rule extraction	ممدانی	۷۲	۱۱۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱۴۲	۰۰:۰۰:۲۴
Fuzzy GA	ممدانی	۷۲	۱۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۶۹۷	۰۰:۲۰:۰۱
ANFIS (Grid Partitioning Learning)	سوگنو	۲۴۰۱	۱۱۲	۰/۰۱۷	۰/۱۳۰۳	۲۱۱:۰۱:۰۷

۹) نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این پژوهش هدف طراحی و بهینه‌سازی سیستم فازی به منظور تشخیص شدت اختلال اُتسم و مقایسه آن با سایر پژوهش‌های انجام شده است. ارزیابی کارایی سیستم از سه روش مرسوم میانگین مربعات خطا، جذر میانگین مجموعه مربعات خطا، منحنی مشخصه عملکرد سیستم استفاده شده است. با توجه به روش‌های به کار گرفته شده بالاترین صحت عملکرد در روش فازی ژنتیک با میزان سطح زیر منحنی Roc ۹۷/۴ درصد در مقایسه با سایر روش‌های پیشنهادی در این پژوهش است. با توجه به اینکه بیماری اُتسم یکی از اختلالات رشدی کودکان است، تشخیص هرچه سریع‌تر سطح شدت این اختلال می‌تواند کمک به انجام کارهای درمانی به منظور جلوگیری از پیشرفت این بیماری صورت گیرد.

از جمله پیشنهادات آتی جهت بهبود عملکرد مدل پیشنهادی در پژوهش حاضر، می توان به استفاده از مدل یادگیری ترکیبی فازی عصبی و سایر الگوریتم های تکاملی متاهوریستیک در راستای بهبود عملکرد سیستم و استخراج قوانین در سیستم فازی اشاره نمود.

سیاسگزار

از مراکز توان بخشی خیریه اتیسم جناب آقای باقرزاده، از مرکز ساماندهی درمان و توانبخشی اختلالات اتیستیک خانم بهاره اسکندری، و مرکز جامع توانبخشی نوید عصر آقای دکتر محسن علی شیرینی تشکر و قدردانی را دارم.

مراجع

- Ahmadlou, M., Adeli, H., & Adeli, A. (2012). Fuzzy Synchronization Likelihood-wavelet methodology for diagnosis of autism spectrum disorder. *Journal of Neuroscience Methods*, 211(2), 203–209. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2012.08.020>
- Ahsan, R., Chowdhury, T. T., Ahmed, W., Mahia, M. A., Mishma, T., Mishal, M. R., & Rahman, R. M. (2019). Prediction of autism severity level in Bangladesh using fuzzy logic: FIS and ANFIS. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 833, pp. 201–210). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-98678-4_22
- Akbari Bayatiani, Z. (2018). Autism Spectrum Disorder from Diagnosis to Treatment. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*, 6(4), 93–101. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.29252/shefa.6.4.93>
- Al-diabat, M. (2018). Fuzzy data mining for autism classification of children. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(7), 11–17. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090702>
- Arthi, K., & Tamilarasi, A. (2008). Prediction of autistic disorder using neuro fuzzy system by applying ANN technique. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 26(7), 699–704. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2008.07.013Get rights and content>
- Calderoni, S., Retico, A., Biagi, L., Tancredi, R., Muratori, F., & Tosetti, M. (2012). Female children with autism spectrum disorder: An insight from mass-univariate and pattern classification analyses. *NeuroImage*, 59(2), 1013–1022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.070>
- Cohen, I. L., Sudhalter, V., Landon-Jimenez, D., & Keogh, M. (1993). A neural network approach to the classification of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 23(3), 443–466. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01046050>
- Ecker, C., Marquand, A., Mourão-Miranda, J., Johnston, P., Daly, E. M., Brammer, M. J., Maltezos, S., Murphy, C. M., Robertson, D., Williams, S. C., & Murphy, D. G. M. (2010). Describing the brain in autism in five dimensions - Magnetic resonance imaging-assisted diagnosis of autism spectrum disorder using a multiparameter classification approach. *Journal of Neuroscience*, 30(32), 10612–10623 DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5413-09.2010>
- Gambini, O., Barbieri, V., & Scarone, S. (2004). Theory of Mind in schizophrenia: First person vs third person perspective. *Consciousness and Cognition*, 13(1), 39–46. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1053-8100\(03\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S1053-8100(03)00046-1)
- Ganji, M. (2015). Complete guide to changes and essentials DSM-5 (Ganji, Meh). Tehran: Savalan. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.5812/ijpbs.87974>
- Isa, N. R. M., Yusoff, M., Khalid, N. E., Tahir, N., & Binti Nikmat, A. W. (2015). Autism severity level detection using fuzzy expert system. In *2014 IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation, IEEE-ROMA2014* (pp. 218–223). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ROMA.2014.7295891>
- Kannappan, A., Tamilarasi, A., & Papageorgiou, E. I. (2011). Analyzing the performance of fuzzy cognitive maps with non-linear hebbian learning algorithm in predicting autistic disorder. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1282–1292 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.069>
- Khalili, Z., Hemmatian, M., Safari, T., & Ahmadi, S. J. (2012). The Psychometric Properties of Gilliam Autism Rating Scale (GARS). *Journal of Cognitive and Behavioral Sciences Research*, 78–104. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.3390/children9030434>
- Khan, S., & Alshara, M. (2019a). Fuzzy Data Mining Utilization to Classify Kids with Autism. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 19(2), 147–154. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090702>
- Khanmohammadi, S., & Jasbi, J. (2011). Introduction to Fuzzy Applied Logic. Tehran: Islamic Azad University. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.30495/TFSS.2023.1973510.1056>
- Naseh, H. (2012). Along with autism from diagnosis to treatment for children who want but do not know how. (M. M. Shariati Bagheri, Ed.). Tehran: Dangier. Retrieved from. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.1002/pits.22808>
- Papageorgiou, E. I., & Kannappan, A. (2012). Fuzzy cognitive map ensemble learning paradigm to solve classification problems: Application to autism identification. *Applied Soft Computing Journal*, 12(12), 3798–3809 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.064>
- Pratap, A., Kanimozhiselvi, C. S., Pramod, K. V., & Vijayakumar, R. (2014). Functional fuzzy based autism assessment support system. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(5), 2105–2114. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i06.11231>

- Pream Sudha, V., & Vijaya, M. S. (2019). Machine learning-based model for identification of syndromic autism spectrum disorder. *Studies in Computational Intelligence*, 771, 141–148 DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-8797-4_16
- Puerto, E., Aguilar, J., López, C., & Chávez, D. (2019). Using Multilayer Fuzzy Cognitive Maps to diagnose Autism Spectrum Disorder. *Applied Soft Computing Journal*, 75, 58–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.10.034>
- Report, M. W. (2014). Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years - autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries* (Washington, D.C. : 2002). DOI: <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss6706a1>
- Russell, S., & McCloskey, C. R. (2016). Parent Perceptions of Care Received by Children With an Autism Spectrum Disorder. *Journal of Pediatric Nursing*, 31(1), 21–31 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2015.11.002>
- Saberipour, N., Mazinani, M., & Hosseini, R. (2018). Presentation of a Fuzzy Intelligent Model Based on the Lookup Table Rule Method and Hierarchical Clustering Agglomerative to for Autism Cassification Based on GARS test. In 4th International Conference on Modern Studies in Computer Science & IT (pp. 1–14). Tehran.(in persian) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-42972-4_9
- Sakishita, M., Ogawa, C., Tsuchiya, K. J., Iwabuchi, T., Kishimoto, T., & Kano, Y. (2020). Autism Spectrum Disorder's Severity Prediction Model Using Utterance Features for Automatic Diagnosis Support. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 843, pp. 83–95). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-24409-5_8
- Shams, W. K., Wahab, A., & Qidwai, U. A. (2012). Fuzzy model for detection and estimation of the degree of autism spectrum disorder. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 7666 LNCS, pp. 372–379). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34478-7_46
- Shandley, K., & Austin, D. W. (2011). *Autism spectrum disorders. A Critical Introduction to DSM (First Era)*. Tehran: Doran. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.5812/ijpbs-135500>
- Sharma, A., Khosla, A., Khosla, M., & Rao, Y. (2018). Fast and Accurate Diagnosis of Autism (FADA): a novel hierarchical fuzzy system based autism detection tool. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 41(3), 757–772. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13246-018-0666-3>
- Vakilzadeh, N., Abedi, A., & Mohseni Ezhiyeh, A. (2017). Investigating Validity and Reliability of Early Screening for Autistic Traits-Persian Version (ESAT-PV) in Toddlers. *Journal of Rehabilitation*, 18(3), 182–193. (in persian) DOI: <https://doi.org/10.21859/jrehab-1803182>
- Wibowo, A., Fauziah, D., Yuliani, Y., Rahayu, Y., Riyanto, A., & Oktapiani, R. (2019). Fuzzy Logic for Autism Screening Test. *Journal of Physics: Conference Series*, 1179(1), 012015. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1179/1/012015>