



# Early Detection of Autism Spectrum Disorder Using Machine Learning

Shabnam Akhoundi Yazdi<sup>1</sup> MSc, Amin Janghorbani Poudeh<sup>2\*</sup> PhD, Ali Maleki<sup>3</sup> PhD

<sup>1</sup> National Center for Health Insurance Research, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Biotechnology, Faculty of New Sciences and Technologies, Semnan University, Semnan, Iran

<sup>3</sup> Department of Biomedical Engineering, Faculty of Electrical & Computer Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

\*Correspondence to: Amin Janghorbani Poudeh, Email: a.janghorbani@semnan.ac.ir

Received: August 15, 2024

Revised: September 24, 2024

Accepted: October 15, 2024

Online Published: December 1, 2024

## Abstract

**Introduction:** Autism is classified as a developmental disorder and primarily disrupts social interactions and communication. This disorder has no definitive treatment, making early diagnosis crucial for mitigating its effects. The purpose of this study is to identify autistic individuals based on the recorded information of their walking pattern by Kinect sensor.

**Methods:** In this research, the machine learning method was employed to identify autistic individuals based on recorded joint position data during walking, recorded by the Kinect sensor. First, a group of statistical features was extracted from the Kinect data, which included joint positions and the angles between them. Then, the extracted features were evaluated using the statistical test of analysis of variance, and the optimal features were selected. Finally, classification was performed by decision tree classifier.

**Results:** In this research, the classification of healthy and autistic individuals was done by the decision tree classification and 42 optimal features selected based on statistical analysis, and the accuracy of classification was 85%. The sensitivity and specificity obtained in this classification are 88 and 82%, respectively.

**Conclusion:** According to the classification results, this research was able to achieve acceptable accuracy by using the low dimension feature vector obtained by statistical analysis. This research, shows autistic individuals can be classified from healthy people only by having the position of several joints. It is suggested researches in future, using this method for measurement the recovery rate or control autism in patient after performing treatment methods.

**Keywords:** Joints, Autism, Kinect Sensor, Statistical Features, Decision Tree, Classification

## Highlights:

1. One of the most important strengths of this study is the use of a data recording system without disturbing autistic individuals.
2. Another strength of this research is the use of statistical tests to reduce the feature vectors dimensions and also reduce the classification time and increase its accuracy.

## Citation:

Akhoundi Yazdi Sh, Janghorbani Poudeh A, Maleki A. Early detection of autism spectrum disorder using machine learning. Iran J Health Insur. 2024;7(3):199-208.



# تشخیص زودهنگام اختلال طیف اوتیسم با استفاده از یادگیری ماشین

شبیم آخوندی یزدی<sup>۱</sup>، MSc، امین جانقربانی پوده<sup>۲</sup>، PhD، علی مالکی<sup>۳</sup> PhD

<sup>۱</sup> مرکز ملی تحقیقات بیمه سلامت، تهران، ایران

<sup>۲</sup> پردیس علم و فناوری‌های نوین، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

<sup>۳</sup> گروه آموزشی مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

\* نویسنده مسئول: امین جانقربانی پوده، پست الکترونیک: a.janghorbani@semnan.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

تصحیح: ۱۴۰۳/۰۷/۰۳

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

## چکیده

**مقدمه:** اوتیسم نوعی اختلال رشدی است که در درجه اول تعاملات و ارتباطات اجتماعی را مختل می‌سازد. این اختلال درمان قطعی ندارد بنابراین تشخیص زودهنگام برای کاهش این اثرات مهم است. هدف از این مطالعه شناسایی افراد مبتلا به اوتیسم براساس اطلاعات ثبت شده از الگوی راه رفتن آنها به وسیله حسگر کینکت است.

**روش بررسی:** در این پژوهش با استفاده از روش یادگیری ماشین مبتنی بر اطلاعات ثبت شده از موقعیت قرارگیری مفاصل هنگام راه رفتن توسط حسگر کینکت، افراد مبتلا به اوتیسم شناسایی شدند. ابتدا، گروه ویژگی‌های آماری از دادگان کینکت استخراج شد که شامل موقعیت مفاصل و زوایای بین آنهاست. سپس ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از آزمون آماری تحلیل واریانس بررسی و ویژگی‌های بهینه انتخاب شدند. در نهایت با استفاده از طبقه‌بند درخت تصمیم طبقه‌بندی انجام شد.

**یافته‌ها:** در این مقاله با استفاده از طبقه‌بند درخت تصمیم و ۴۲ ویژگی بهینه انتخاب شده مبتنی بر تحلیل آماری، طبقه‌بندی گروه سالم و بیمار انجام شد و صحت ۸۵ درصد به‌دست آمد. میزان حساسیت و ویژه‌بودن به‌دست آمده در این طبقه‌بندی، به ترتیب ۸۸ و ۸۲ درصد است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج طبقه‌بندی انجام شده، مشاهده می‌شود که این پژوهش توانست با استفاده از بردار ویژگی با بعد کم که به‌وسیله تحلیل آماری به‌دست آمده بود، به صحت قابل قبولی دست یابد. در این پژوهش نشان داده شد که تنها با داشتن موقعیت قرارگیری چند مفصل می‌توان افراد مبتلا به اوتیسم را از افراد سالم طبقه‌بندی کرد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با استفاده از این روش میزان بهبودی یا کنترل اوتیسم در افراد را پس از انجام روش‌های درمانی اندازه‌گیری کنند.

**واژگان کلیدی:** مفاصل، اوتیسم، حسگر کینکت، ویژگی‌های آماری، درخت تصمیم، طبقه‌بندی

## نکات ویژه

- ۱- یکی از مهم‌ترین نقاط قوت این مطالعه استفاده از یک سیستم ثبت داده بدون ایجاد مزاحمت برای افراد مبتلا به اوتیسم است.
- ۲- از دیگر نقاط قوت این پژوهش استفاده از تست آماری برای کاهش ابعاد بردار ویژگی و در نتیجه کاهش زمان طبقه‌بندی و افزایش دقت آن است.

## مقدمه

است که در افراد ممکن است به صورت شدید، متوسط یا خفیف بروز کند [۱]. در افراد مبتلا به اوتیسم برقراری روابط اجتماعی با دیگر افراد سخت است به طور کلی این افراد دارای روابط اجتماعی ضعیف هستند. یکی دیگر از علائم این اختلال، انجام کارها و حرکات تکراری و یکنواخت است در نتیجه در این افراد انعطاف‌پذیری وجود ندارد [۲]. از دیگر

یکی از بیماری‌های صعب‌العلاج تحت پوشش بیمه سلامت، اوتیسم است. به همین دلیل این سازمان در نظر دارد برای آموزش پزشکان در راستای شناسایی این بیماری اقدامات جدی انجام شود که بیماران را به سرعت تشخیص دهند و هزینه‌های درمانی آنها کاهش یابد. اوتیسم یک اختلال طیفی

فعالیت‌های مغزی حتما باید توسط پزشک متخصص در محیط درمانی مانند مطب یا کلینیک انجام شود که خود باعث ایجاد تنش برای کودکان اوتیسم می‌شود.

تشخیص دیر هنگام اوتیسم به ضرر کودک است، شناسایی و مداخله و درمان تحلیل رفتار کاربردی نتایج بهتری برای افراد مبتلا به اوتیسم و خانواده‌ها دارد. آموزش مهارت‌ها و تمرین‌هایی برای بهبود روابط در افراد مبتلا به هنگام کودکی راحت‌تر است. بی‌شک هرچه تشخیص اوتیسم در افراد زودتر صورت گیرد، می‌توان رفتار آموزشی مناسب‌تری را مقابل آنها در پیش گرفت.

علاوه بر این با توجه به نکات ذکر شده، بررسی طریقه راه رفتن افراد، می‌تواند یکی از روش‌های تشخیص بیماری اوتیسم باشد [۲۲]. محققان در حال تلاش برای توسعه سامانه‌های تشخیص خودکار با حداقل مداخله انسانی، زمان غربالگری سریع‌تر و دسترسی بهتر هستند [۲۳]. یکی از این روش‌ها، استفاده از حسگر کینکت است. چندین مطالعه با استفاده از حسگر کینکت برای شناسایی و بررسی حرکت افراد مبتلا به اوتیسم صورت گرفته است. این مطالعات ابتدا با استفاده از داده‌های مختصات مفاصل و بررسی و تحلیل چرخه راه رفتن فرد، افراد مبتلا به اوتیسم را از افراد سالم شناسایی می‌کنند [۲۴، ۲۵]. براساس این مطالعات، دقت حسگر کینکت برای استفاده بالینی در تشخیص بیمار مبتلا به اوتیسم بالاست [۲۶، ۲۷]. این روش در هر محیط آرام و به دور از استرس برای کودکان همچون مهدکودک یا شبیه‌سازی محیطی همچون آن برای کودکان قابل اجراست. برای ثبت داده، با یک آموزش ساده به کاربر می‌توان آزمایش را انجام داد و نیازی به حضور پزشک متخصص در آن مکان نیست و پزشک می‌تواند با دیدن نتایج ثبت تشخیص قطعی و روش‌های درمانی را پیشنهاد دهد. با توجه به اینکه برای تمام فعالیت‌های پزشکی نیاز به رضایت بیمار است، بهتر است در ابتدا از والدین کودک یک رضایت‌نامه شخصی برای انجام تست گرفته شود، سپس با کودک صحبت شود و از او بخواهند دو قدم به سمت حسگر حرکت کند. این آزمایش اصلا نیاز به تجهیزات گران ندارد و تنها وسایل قابل استفاده برای آن یک حسگر کینکت و یک رایانه برای تحلیل داده‌هاست. پس از راه

علائم اوتیسم می‌توان به اختلال در تکلم و گفتار مانند شمرده و آهسته صحبت کردن، واژه‌سازی‌های غیرطبیعی نامتعارف، سرگرم شدن طولانی‌مدت با یک وسیله و بازی نکردن با دیگر کودکان اشاره کرد. همچنین افراد مبتلا به اوتیسم ممکن است به لمس، بوهای خاص، صداها، بلند، دمای زیاد و حتی رنگ‌های خاص حساس باشند. معمولا علائم اوتیسم از یک سالگی نمایان می‌شود. نوع دیگری از این اختلال وجود دارد که علائم آن دیرتر آشکار می‌شود و ممکن است افراد مبتلا در ابتدا عادی باشند اما در سنین بالاتر نشانه‌هایی از اوتیسم در آنها بروز پیدا کند [۱۱-۳]. افراد مبتلا به اوتیسم معمولا هنگام راه رفتن روی نوک پنجه پا می‌روند یا پای خود را روی زمین می‌کشند و دست‌های خود را به صورت مکرر تکان می‌دهند. برخی از کودکان اوتیسمی دارای رفتارهای خطرناکی چون آسیب به خود یا دیگران نیز هستند در نتیجه نیاز به مراقبت ویژه دارند. نحوه قرارگیری عصب‌ها و مخچه افراد مبتلا به اوتیسم با افراد سالم فرق دارد به همین دلیل منجر به فقدان تعادل و کنترل موقعیت هنگام راه رفتن می‌شود [۱۷-۱۲].

هیچ درمان دائمی برای اختلال اوتیسم وجود ندارد اما با تشخیص زودهنگام می‌توان از شدت یافتن آن پیشگیری و فرد مبتلا به اوتیسم را تبدیل به یک فرد مستقل کرد. برای بهبود اوتیسم می‌توان از روش‌هایی مانند رفتاردرمانی، گفتاردرمانی، موسیقی‌درمانی و آموزش تعامل مناسب با مردم و محیط اطراف استفاده کرد [۱۸]. در حال حاضر تشخیص اختلال اوتیسم معمولا با استفاده از بررسی رفتارها، چک‌لیست‌های روان‌شناختی، آزمایش خون، سیگنال الکتروانسفالوگرام و تصویربرداری تشدید مغناطیسی مغز انجام می‌شود [۱۹-۲۱]. برخی از معایب این روش‌ها عبارتند از: دخیل بودن افراد غیرمتخصص (والدین و اطرافیان بیمار)، تهاجمی بودن و ناخوشایند بودن برای کودکان مبتلا به اوتیسم. کودکان مبتلا به اوتیسم دارای روابط عمومی بسیار پایین هستند و از تعامل با دیگران رنج می‌برند. همچنین از تماس فیزیکی با افراد خودداری می‌کنند. بنابراین سه روش بالا برای ثبت فعالیت‌های مغز باعث ناراحتی در این افراد می‌شود و حتی ممکن است از این کار جلوگیری کنند. همچنین ثبت

افراد مورد آزمایش در این ثبت دو قدم به سمت حسگر کینکت حرکت کردند و در نتیجه موقعیت مفاصل بدن افراد در راستای محور سه بعدی مختصات ثبت شده است. در ابتدا یک گروه ویژگی آماری از دادگان ثبت شده از ۲۵ مفصل بدن در راستای سه محور مختصات، ۱۶ زاویه بین مفاصل، فاصله بین تک تک مفاصل تا مفصل وسط بدن و فاصله مفاصل تا زمین استخراج می‌شود. پس از استخراج ویژگی‌ها، با استفاده از آزمون آماری تحلیل واریانس (آنوا)، ویژگی‌های بهینه انتخاب می‌شوند. سپس با استفاده از بردار ویژگی‌های بهینه انتخاب شده، طبقه‌بندی گروه مبتلا به اوتیسم و سالم به وسیله طبقه‌بند درخت تصمیم انجام می‌شود. تمام مراحل صورت گرفته در این پژوهش با استفاده از برنامه‌ای که توسط نرم‌افزار برنامه‌نویسی متلب نوشته شده است، انجام شد. در این پژوهش سعی بر این است که با تشخیص زودهنگام اوتیسم با استفاده از بردار ویژگی با تعداد کم اما صحت قابل قبول، روند درمان کاهش یابد و در نتیجه هزینه‌های درمان بیماری کم شود و افراد مبتلا به اوتیسم پس از گذراندن مراحل درمان خود بتوانند در جامعه فعالیت داشته باشند. روند این فرآیند در شکل ۱ قابل مشاهده است.

### یافته‌ها

در این پژوهش از دادگان ثبت شده در مقاله شماره ۳ استفاده شد [۳]. در فرآیند استخراج ویژگی، تعداد زیادی ویژگی استخراج می‌شود که این امر ممکن است باعث بروز مشکل هنگام طبقه‌بندی شود، زیرا هنگام طراحی طبقه‌بند، متناسب با تعداد ویژگی‌ها، پارامتر خواهیم داشت که ممکن است باعث بیش‌برازش شدن طبقه‌بند شود. هر کدام از

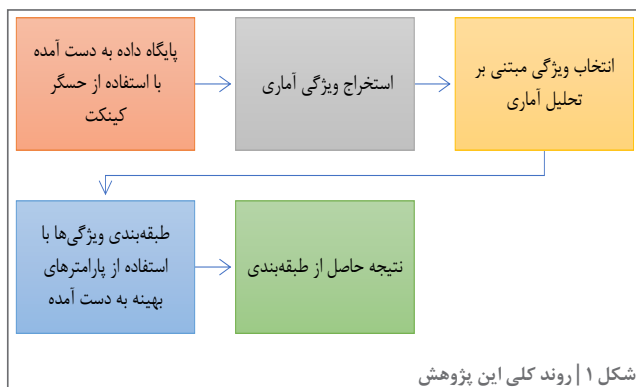
رفتن فرد موقعیت قرارگیری سه‌بعدی مفاصل او ثبت می‌شود و با استفاده از طبقه‌بندها او در گروه سالم یا بیمار قرار داده می‌شود. قابل ذکر است که این روش دارای درصد صحت بالا و خطای بسیار ناچیز در تشخیص است.

هدف از این مطالعه، شناسایی افراد مبتلا به اوتیسم براساس اطلاعات ثبت شده از الگوی راه رفتن آنها به وسیله حسگر کینکت است.

در این مطالعه سعی بر این شده که در طبقه‌بندی دو گروه بیمار و سالم بتوان با کاهش بعد بردار ویژگی به درصد خطای کم و صحت بالا با استفاده از طبقه‌بند درخت تصمیم رسید.

### روش بررسی

با توجه به اینکه الگوی راه رفتن افراد مبتلا به اوتیسم با افراد سالم متفاوت است، بنابراین اطلاعات مربوط به این فرآیند می‌تواند به عنوان شاخصی برای تفکیک این دو گروه مورد استفاده قرار گیرد [۲۷]. هدف از این پژوهش کمی، تشخیص کودکان مبتلا به اوتیسم بر اساس طریقه راه رفتن آنها با استفاده از حسگر کینکت بدون استفاده از حسگرهای پوشیدنی است. بدین منظور، ۲۵ مفصل از بدن فرد که نقاط آناتومیکی نامیده می‌شوند، شناسایی شده و مسیر حرکت آنها بر روی تصاویر، ردیابی می‌شود. در این پژوهش با استفاده از مجموعه دادگان ثبت شده سه‌بعدی حسگر کینکت که از راه رفتن و حرکت تمام مفاصل بدن کودکان مبتلا به اختلالات طیف اوتیسم و افراد سالم گردآوری شده، طبقه‌بندی صورت گرفت. جامعه آماری این پایگاه داده، مجموعه داده سه بعدی حسگر کینکت، ۱۰۰ کودک اعم از ۵۰ فرد سالم و ۵۰ فرد مبتلا به اختلالات طیف اوتیسم در رده سنی بین ۲ تا ۱۵ سال بودند. در ابتدا همه افراد قبل از ثبت توسط پزشک معاینه شده‌اند و عاری از هرگونه اختلال یا بیماری به غیر از اوتیسم بودند تا در راه رفتن و تشخیص اختلال طیف اوتیسم دچار اشتباه نشوند. در نتیجه افرادی که مشکلات دیگری داشتند که منجر به تغییر در راه رفتن عادی افراد می‌شود، کنار گذاشته شدند. این پایگاه داده در یک مهدکودک در کشور عراق در سال ۲۰۲۰ ثبت شده و به صورت آماده در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است.



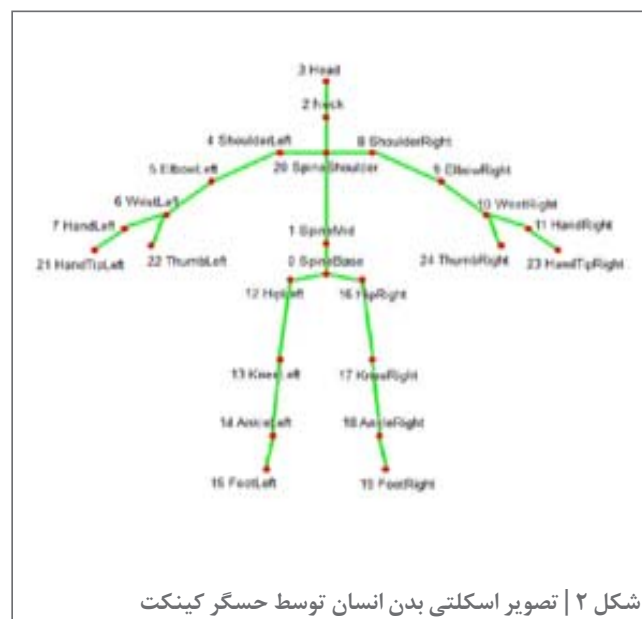
یکی از روش‌های انتخاب ویژگی‌های بهینه، استفاده از تحلیل آماری واریانس (آنوا) است. تحلیل واریانس، مجموعه‌ای از مدل‌های آماری و فرآیندهای تخمینی آن است که برای تحلیل تفاوت میانگین بین گروه‌ها به کار می‌رود. در واقع تحلیل واریانس، یک آزمون آماری ارائه می‌کند که به وسیله آن می‌توان برابر بودن یا نبودن میانگین بین گروه‌ها را تعیین کرد. این تحلیل یک جدول و یک نمودار جعبه‌ای برای هر یک از ویژگی‌ها نمایش می‌دهد. جدول آنوا اختلاف بین گروه‌ها (ستون‌ها) و تغییرات درون گروه (خطا) را نشان می‌دهد. دیگر پارامترهای موجود در تحلیل آنوا عبارتند از: SS (مجموع مربعات ناشی شده از هر منبع)، DF (درجات آزادی مربوط به هر منبع) و MS (میانگین مربعات خطا برای هر منبع (نسبت SS/df)). مجموع درجات آزادی، برابر با تعداد گروه‌ها منهای یک است. آمار F نسبت میانگین خطای مربعات است. سطح معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۵ دارای معناداری است و از آن ویژگی می‌توان به عنوان ویژگی بهینه در طبقه‌بند استفاده کرد. در این تحلیل باید مقیاس اندازه‌گیری نسبی یا فاصله‌ای، توزیع متغیرها نرمال، وجود همگنی در واریانس‌ها و مشاهدات مستقل باشد.

پس از استخراج ویژگی‌ها، ویژگی‌های بهینه با استفاده از تحلیل آماری واریانس به دست آورده شدند. برای طبقه‌بندی از میان ویژگی استخراج شده ویژگی‌هایی که دارای سطح معناداری کمتر از ۰/۰۰۰۰۱ هستند انتخاب شده که شامل ۴۲ ویژگی است. ویژگی‌های بهینه به دست آمده شامل میانگین موقعیت قرارگیری برخی از مفاصل، میانگین برخی از زوایا بین مفاصل و واریانس برخی از مفاصل است. تمام موقعیت‌های بهینه مفاصل انتخاب شده براساس محور Y است که نشان‌دهنده تفاوت حرکت مفاصل به سمت بالا و پایین در بین دو گروه سالم و اوتیسمی است. در این پژوهش از طبقه‌بند درخت تصمیم برای تشخیص افراد مبتلا به اوتیسم از افراد سالم استفاده شد.

در این پژوهش برای ارزیابی قابل تعمیم و مستقل بودن نتایج تحلیل آماری نسبت به داده‌های آموزش، از روش اعتبارسنجی استفاده شد. از این روش برای بهینه بودن مدل برای پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شود. اعتبارسنجی به گونه‌های

این ویژگی‌ها می‌توانند دارای اطلاعات مفیدی باشند، اما این بدان معنا نیست که همه آنها در کنار هم مفید باشند. بنابراین کم کردن بعد بردار ویژگی یکی از اهداف مهم در طبقه‌بندی است. در نتیجه، انتخاب ویژگی، انتخاب کردن ویژگی‌های بهینه با هدف دستیابی به طبقه‌بند با بالاترین تعمیم‌پذیری است. کاهش بعد یا انتخاب ویژگی باعث افزایش کارایی طبقه‌بند می‌شود، چون تعمیم‌پذیری طبقه‌بند افزایش می‌یابد.

هدف، استخراج ویژگی‌های الگوی راه رفتن فرد مبتلا به بیماری اوتیسم است تا در نهایت با استفاده از آنها بتوان افراد سالم و افراد مبتلا به اوتیسم را از یکدیگر متمایز کرد. ابتدا ویژگی‌های میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی برای موقعیت ۲۵ مفاصل در راستای سه محور X، Y و Z و زاویه‌ها به دست آورده شد. دیگر ویژگی‌های به دست آمده عبارتند از حداکثر طول گام، حداکثر عرض گام، زمان چرخه راه رفتن، تفاضل بیشینه و کمینه موقعیت هر مفصل در تک‌تک محورها، فاصله مفاصل تا زمین، فاصله برخی از مفاصل از یکدیگر، حداکثر و حداقل فاصله بین پاها، فاصله مفاصل نسبت به مفصل وسط لگن، سرعت و مجموع بیشینه و کمینه فاصله بین پاها تقسیم بر دو. در نهایت یک ماتریس با ۱۰۴۶ ستون از ویژگی‌ها به دست می‌آید. در شکل ۲ تصویر اسکلتی بدن انسان که توسط حسگر کینکت ثبت شده، مشاهده می‌شود.

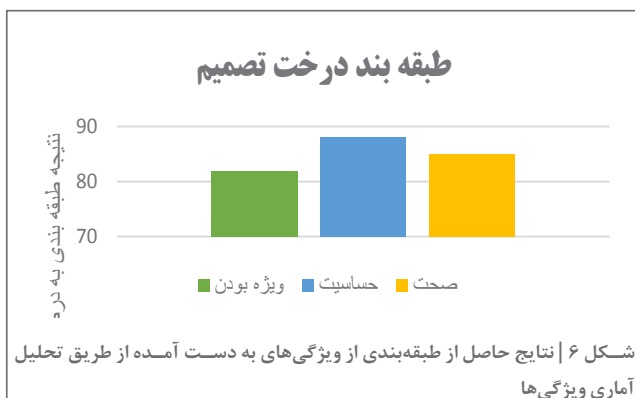
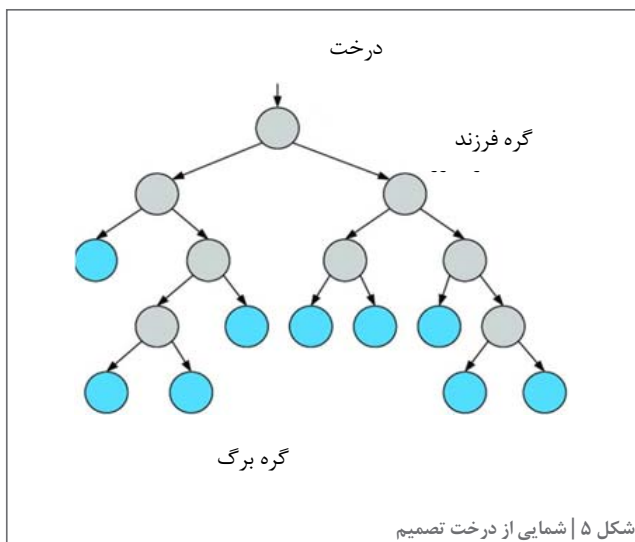


شکل ۲ | تصویر اسکلتی بدن انسان توسط حسگر کینکت

در این پژوهش برای جداسازی و طبقه‌بندی افراد سالم و مبتلا به اوتیسم از طبقه‌بند درخت تصمیم استفاده شد. طبقه‌بند درخت تصمیم از جمله الگوریتم‌های پرکاربرد طبقه‌بندی است. درخت‌های تصمیم را می‌توان برای کشف ویژگی‌ها و استخراج الگوها در پایگاه‌های داده بزرگ استفاده کرد که برای تمایز و مدل‌سازی پیش‌بینی مهم هستند. این ویژگی‌ها، همراه با تفسیر شهودی آنها، از جمله دلایلی است که درخت‌های تصمیم به‌طور گسترده برای تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی و برنامه‌های مدل‌سازی پیش‌بینی مورد

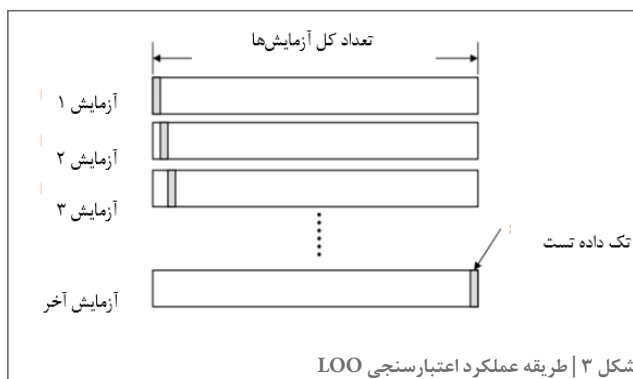
جدول ۱ | نتایج حاصل از طبقه‌بندی از ۴۲ ویژگی به دست آمده از طریق تحلیل آماری ویژگی‌ها

| درخت تصمیم |      |
|------------|------|
| ویژه بودن  | ۰/۸۲ |
| حساسیت     | ۰/۸۸ |
| صحت        | ۰/۸۵ |



متفاوت صورت می‌گیرد که یکی از آنها LOO است. در این تکنیک، ویژگی‌های یکی از سوژه‌ها را به عنوان داده آزمون کنار گذاشته و سپس مدل با استفاده از ویژگی‌های بقیه افراد آموزش می‌بیند. این فرآیند به تعداد سوژه‌ها تکرار می‌شود. در این روش، از تمامی داده‌ها هم برای آموزش و هم برای آزمایش استفاده می‌شود که منجر به بهینه بودن این روش شده است. میانگین نرخ خطا در هر تکرار برابر با نرخ خطای مدل می‌شود. در شکل ۳ طریقه فرآیند اعتبارسنجی متقابل LOO قابل مشاهده است.

برای نشان دادن عملکرد طبقه‌بندها، از ماتریس درهم‌ریختگی استفاده می‌شود. این ماتریس دارای اطلاعات پیش‌بینی شده از کلاس‌هاست. برای سنجش عملکرد طبقه‌بند، از معیارهای صحت، حساسیت و ویژه بودن استفاده می‌شود. در شکل ۴ نمونه‌ای از یک ماتریس درهم‌ریختگی و معیارهای آن مشاهده می‌شود.



|                     |      | مقادیر واقعی                     |                                  |
|---------------------|------|----------------------------------|----------------------------------|
|                     |      | مثبت                             | منفی                             |
| مقادیر پیش‌بینی شده | مثبت | درست مثبت<br>TP                  | نادرست مثبت<br>FP<br>خطای نوع یک |
|                     | منفی | نادرست منفی<br>FN<br>خطای نوع دو | درست منفی<br>TN                  |

شکل ۴ | شکل ماتریس درهم‌ریختگی

مشکل در پژوهش حاضر برطرف شده و طبقه‌بندی با استفاده از تعداد ویژگی کمتر که با استفاده از تحلیل آماری ویژگی‌ها به دست آمده بود، انجام شد.

عبدالرحمان و همکاران [۳] اختلال طیف اوتیسم را با استفاده از ثبت چند نمونه طریقه راه رفتن افراد مبتلا به اوتیسم و افراد سالم به وسیله حسگر کینکت تشخیص دادند. آنها ابتدا ویژگی‌های زاویه مفاصل و فاصله میان پاها را استخراج و سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی را انجام دادند. در پژوهش پیشین انجام گرفته روی این پایگاه داده [۳] باتوجه به ابعاد بزرگ بردار ویژگی استخراج شده، برای جلوگیری از بیش برآزش مدل از هفت تبدیل ریاضیاتی برای توسعه مجموعه داده استفاده شد. در فرآیند آموزش، ۷۰ درصد از کل داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد از آنها برای آزمون انتخاب شدند. براساس این روش داده توسعه یافته یک فرد هم به عنوان داده آموزش و هم به عنوان داده آزمون به طبقه‌بند داده شده است. این امر موجب کسب دانش پیشین درباره اطلاعات هر فرد و ایجاد مشکل در ارزیابی صحیح طبقه‌بند خواهد شد. این مطالعه با کاهش بعد بردار ویژگی نیاز به توسعه مجموعه داده را حذف کرده و برای آموزش طبقه‌بند فقط از داده‌های واقعی بهره گرفته است. در این پژوهش بعد بردار ویژگی از ۱۰۴۶ به ۴۲ کاهش پیدا کرد که باعث افزایش سرعت طبقه‌بندی می‌شود. همچنین در پژوهش حاضر هر سوژه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و برچسب زده شد. یعنی در ابتدا برای هر فرد پارامترهای بهینه در هر طبقه‌بند به دست آمد و در نهایت با استفاده از رای اکثریت، پارامترهایی که برای تعداد بیشتری از افراد مورد آزمایش بهینه شده بود، انتخاب شدند و طبقه‌بندی با یک دسته پارامتر یکسان (سیستم یکپارچه) برای همه افراد انجام شد.

پژوهش‌های دیگری نیز روی تشخیص یا میزان بهبودی بیماری اوتیسم صورت گرفته که قسمت‌هایی از آنها در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها به شرح زیر است:

حسن و همکاران [۲۸] توانستند در یک چرخه راه رفتن با استفاده از نیروهای سه بعدی واکنش زمینی، اختلال طیف

استفاده قرار گرفته‌اند. اساس کار درخت تصمیم به این گونه است که فضای ورودی ویژگی‌ها را به زیر بخش‌هایی تقسیم می‌کند و بر اساس آن، برچسب کلاس را در هر زیر بخش فضای ورودی تعیین می‌کند. حال به بررسی مختصر اجزای اصلی درخت تصمیم پرداخته می‌شود. اولین جز ریشه است که گره ابتدایی درخت تصمیم است. پس از آن، شاخه است که بیانگر پرسشی درباره مقدار یکی از ویژگی‌هاست که به ازای هر پاسخ این سوال یک شاخه به وجود می‌آید. این شاخه‌ها در نهایت به برگ منتهی می‌شود. هر کدام از برگ‌های پایانی نشان‌دهنده یک کلاس هستند. توانایی تعمیم مدل‌های درخت تصمیم برای کاربردهای مدل‌سازی پیش‌بینی بسیار مهم است. شکل ۵ نمونه‌ای از یک درخت تصمیم را نشان می‌دهد.

با استفاده از ۴۲ ویژگی بهینه به دست آمده از طریق تحلیل آنوا (دارای سطح معناداری کوچک‌تر از ۰/۰۰۰۱)، طبقه‌بندی انجام شد. نتایج حاصل در این مرحله در جدول ۱ و شکل ۶ ذکر شده است.

## بحث

در این پژوهش ابتدا بعد بردار ویژگی کاهش و سپس بهبود نتیجه انجام گرفت. در این مطالعه طبقه‌بندی افراد سالم از افراد مبتلا به اوتیسم با استفاده از ویژگی‌های آماری به دست آمده از دادگان ثبت شده از موقعیت مفاصل هنگام راه رفتن صورت گرفت. یکی از مشکلات پژوهش پیشین انجام شده روی این پایگاه داده، زیاد بودن تعداد ویژگی‌ها (۱۰۴۶) بود که باعث کند شدن فرآیند طبقه‌بندی و همچنین بیش‌برآزش طبقه‌بند می‌شود. این مشکل در پژوهش حاضر برطرف شده و طبقه‌بندی با استفاده از تعداد ویژگی کمتر با تأثیر بیشتر انجام شده است. ویژگی‌هایی که دارای تأثیر بیشتر در جداسازی دو گروه داشتند، انتخاب شدند. یکی از مشکلات پژوهش قبل [۳] زیاد بودن تعداد ویژگی‌ها (۱۰۴۶) بود. همچنین برای کم کردن بعد ویژگی‌ها از روش تحلیل مولفه مستقل استفاده کرده‌اند که با اینکه باعث کاهش بعد شده اما این روش نیازمند استخراج همه این ویژگی‌هاست، زیرا آنالیز مولفه مستقل به کل ماتریس ویژگی نیاز دارد. این

اکثریت، پارامترهایی که برای تعداد بیشتری از افراد مورد آزمایش بهینه شده بود، انتخاب شدند و طبقه‌بندی با یک دسته پارامتر یکسان (سیستم یکپارچه) برای همه افراد انجام شد. این روش هیچ‌گونه ناراحتی و اذیت برای کودکان مبتلا به اوتیسم ایجاد نمی‌کند و در آینده می‌توان با استفاده از قراردادن حسگر کینکت در کلینیک‌های توانبخشی اوتیسم را تشخیص داد. در این پژوهش سعی بر این بود که با تشخیص زودهنگام و سریع اوتیسم بتوان از پیشرفت این بیماری جلوگیری کرد و هزینه‌های محتمل به خانواده و سازمان‌های بیمه‌گر مثل سازمان بیمه سلامت را کاهش داد. با بهبود علائم اختلال طیف اوتیسم، افراد مبتلا می‌توانند همچون افراد سالم در اجتماع فعالیت داشته باشند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با استفاده از این روش میزان بهبودی یا کنترل اوتیسم در افراد را پس از انجام روش‌های درمانی اندازه‌گیری کنند.

**تأییدیه اخلاقی:** مطالعه حاضر مستخرج از پایان‌نامه در مقطع کارشناسی ارشد است که با کد رهگیری ۲۸۱۶۵۹۷ به نشانی <https://sabt.irandoc.ac.ir> مورد تأیید شورای پژوهشی دانشگاه سمنان قرار گرفت.

**تعارض منافع:** در مطالعه حاضر هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

**سهم نویسندگان:** شبنم آخوندی یزدی: نوشتن برنامه برای طبقه‌بندی با استفاده از برنامه متلب و تحلیل داده‌ها با سهم ۳۵ درصد، امین جانقرانی پوده: ایده اولیه، پیدا کردن پایگاه داده و ادیت نهایی با سهم ۳۵ درصد، علی مالکی: مشارکت در نگارش و اصلاح مقاله با سهم ۳۰ درصد.

**منابع مالی:** این مطالعه مورد حمایت مالی هیچ سازمان یا ارگان خاصی قرار نگرفته است.

## References

- Kulage KM, Smaldone AM, Cohn EG. How will DSM-5 affect autism diagnosis? A systematic literature review and meta-analysis. *J Autism Dev Disord*. 2014;44(8):1918-32. doi: [10.1007/s10803-014-2065-2](https://doi.org/10.1007/s10803-014-2065-2).
- Hus Y, Segal O. Challenges surrounding the diagnosis of autism in children. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2021;17:3509-29. doi: [10.2147/NDT.S282569](https://doi.org/10.2147/NDT.S282569).
- Al-Jubouri AA, Ali IH, Rajihy Y. Generating 3D dataset of Gait and Full body movement of children with Autism spectrum disorders collected by Kinect v2 camera. *Compusoft*. 2020;9(8):3791-7.
- Schjølberg S, Shic F, Volkmar FR, Nordahl-Hansen A, Stenberg N, Torske T, et al. What are we optimizing for in autism screening? Examination of algorithmic changes in the M-CHAT. *Autism Res*. 2022;15(2):296-

اوتیسم را ارزیابی کنند. در این آزمایش، حداکثر نیرو در هنگام صاف بودن پا و نیروی عمودی به عنوان ویژگی از دادگان کینکت استخراج شدند. سپس با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی اختلالات بیماران مبتلا به اوتیسم را طبقه‌بندی کردند.

جزولی و همکاران [۲۹] توانستند با آزمایشی که بر پایه تکان خوردن بدن، ضربه زدن دست، زدن انگشتان دست به صورت و بردن دست‌ها به پشت بدن در افراد مبتلا به اوتیسم بود، بهبودی بیماران مبتلا به اوتیسم را ارزیابی کنند. آنها با استفاده از حسگر کینکت سه بعدی، موقعیت مفاصل و زوایای بین مفاصل را به دست آوردند و دادگان را به وسیله شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی کردند.

ایلیاس و همکاران [۳۰] با استفاده از حسگر کینکت و مادون قرمز دادگان راه رفتن افراد اوتیسمی و سالم را ثبت کردند. سپس ویژگی‌های سرعت راه رفتن، طول گام و زمان گام را از دادگان به دست آوردند. در آخر این ویژگی‌ها را به ماشین بردار پشتیبان دادند و طبقه‌بندی افراد سالم از بیمار انجام گرفت.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تشخیص کودکان مبتلا به اوتیسم از کودکان سالم بر اساس طبقه‌بندی ویژگی‌های آماری از موقعیت قرارگیری مفاصل و زوایای بین آنها هنگام راه رفتن کودکان صورت گرفت. ۴۲ ویژگی بهینه آماری (بردار ویژگی با بعد کم) با استفاده از تحلیل آماری واریانس به دست آمد که دارای سطح معناداری کمتر از ۱/۰۰۰۰ بودند. در نهایت برای داشتن یک روش واحد برای تمام افراد، با استفاده از پارامترهای بهینه به دست آمده برای هر طبقه‌بند، طبقه‌بندی انجام شد. با مشاهده نتایج طبقه‌بندی انجام شده، مشاهده می‌شود که این پژوهش توانست با استفاده از بردار ویژگی با بعد کم که به وسیله تحلیل آماری ویژگی‌ها به دست آمده بود، به صحت قابل قبولی دست یابد. در پژوهش حاضر هر سوژه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و برچسب زده شد. یعنی در ابتدا برای هر فرد پارامترهای بهینه در هر طبقه‌بند به دست آمد و در نهایت با استفاده از رای

304. doi: [10.1002/aur.2643](https://doi.org/10.1002/aur.2643).
5. Stathopoulou A, Loukeris D, Karabatzaki Z, Politi E, Salapata Y, Drigas A. Evaluation of mobile apps effectiveness in children with autism social training via digital social stories. *Int J Interact Mob Technol*. 2020;14(3):4-18. doi: [10.3991/ijim.v14i03.10281](https://doi.org/10.3991/ijim.v14i03.10281).
6. Valijonovna KI. The concept of environmental competence and its structure. *Gospodarka i Innowacje*. 2022;22:29-35.
7. Uljarević M, Baranek G, Vivanti G, Hedley D, Hudry K, Lane A. Heterogeneity of sensory features in autism spectrum disorder: Challenges and perspectives for future research. *Autism Res*. 2017;10(5):703-10. doi: [10.1002/aur.1747](https://doi.org/10.1002/aur.1747).
8. Crane L, Lui LM, Davies J, Pellicano E. Autistic parents' views and experiences of talking about autism with their autistic children. *Autism*. 2021;25(4):1161-7. doi: [10.1177/1362361320981317](https://doi.org/10.1177/1362361320981317).
9. Steinbrenner JR, Hume K, Odom SL, Morin KL, Nowell SW, Tomaszewski B, et al. Evidence-based practices for children, youth, and young adults with autism. FPG child development institute. 2020.
10. Fauziyah N, Budayasa IK. Cognition Processes of ASD Students: Recommendations for Mathematics Teaching and Learning Process. *International Journal of Instruction*. 2022;15(3):805-30. doi: [10.29333/iji.2022.15344a](https://doi.org/10.29333/iji.2022.15344a).
11. Howard PL, Sedgewick F. 'Anything but the phone!': Communication mode preferences in the autism community. *Autism*. 2021;25(8):2265-78. doi: [10.1177/13623613211014995](https://doi.org/10.1177/13623613211014995).
12. Djerassi M, Ophir S, Atzil S. What is social about autism? The role of allostasis-driven learning. *Brain Sci*. 2021;11(10):1269. doi: [10.3390/brainsci11101269](https://doi.org/10.3390/brainsci11101269).
13. Lum JA, Shandley K, Albein-Urios N, Kirkovski M, Papadopoulos N, Wilson RB, et al. Meta-analysis reveals gait anomalies in autism. *Autism Res*. 2021;14(4):733-47. doi: [10.1002/aur.2443](https://doi.org/10.1002/aur.2443).
14. Calhoun M, Longworth M, Chester VL. Gait patterns in children with autism. *Clin Biomech*. 2011;26(2):200-6. doi: [10.1016/j.clinbiomech.2010.09.013](https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.09.013).
15. Marko MK, Crocetti D, Hulst T, Donchin O, Shadmehr R, Mostofsky SH. Behavioural and neural basis of anomalous motor learning in children with autism. *Brain*. 2015;138(3):784-97. doi: [10.1093/brain/awu394](https://doi.org/10.1093/brain/awu394).
16. Gong L, Liu Y, Yi L, Fang J, Yang Y, Wei K. Abnormal gait patterns in autism spectrum disorder and their correlations with social impairments. *Autism Res*. 2020;13(7):1215-26. doi: [10.1002/aur.2302](https://doi.org/10.1002/aur.2302).
17. Dufek JS, Eggleston JD, Harry JR, Hickman RA. A comparative evaluation of gait between children with autism and typically developing matched controls. *Med Sci*. 2017;5(1):1-11. doi: [10.3390/medsci5010001](https://doi.org/10.3390/medsci5010001).
18. Yusria Y, Ridwan R, Hariyanto D, Ariska M. 'Bina Wicara' application and communication engineering of parents toward autism children. IOP Publishing: InIOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. pp. 062001. doi: [10.1088/1757-899X/1098/6/062001](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/6/062001).
19. Li J, Zhong Y, Han J, Ouyang G, Li X, Liu H. Classifying ASD children with LSTM based on raw videos. *Neurocomputing*. 2020;390:226-38. doi: [10.1016/j.neucom.2019.05.106](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.05.106).
20. Morel C, Christophe A, Maguin-Gaté K, Paoli J, Turner JD, Schroeder H, et al. Head-to-head study of developmental neurotoxicity and resultant phenotype in rats:  $\alpha$ -hexabromocyclododecane versus valproic acid, a recognized model of reference for autism spectrum disorders. *Toxics*. 2022;10(4):180. doi: [10.3390/toxics10040180](https://doi.org/10.3390/toxics10040180).
21. Kassim GE, Hashem SH. DMAV: Enhanced MAV Link Protocol Using Dynamic DNA Coding for Unmanned Aerial Vehicles. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*. 2022;18(11):4-16. doi: [10.3991/ijoe.v18i11.34085](https://doi.org/10.3991/ijoe.v18i11.34085).
22. Rahman S, Ahmed SF, Shahid O, Arrafi MA, Ahad MA. Automated detection approaches to autism spectrum disorder based on human activity analysis: A review. *Cognit Comput*. 2022;14(5):1773-800. doi: [10.1007/s12559-021-09895-w](https://doi.org/10.1007/s12559-021-09895-w).
23. Webster D, Celik O. Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:1-24. doi: [10.1186/1743-0003-11-108](https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-108).
24. Duong TT, Goldman S, Zhang H, Salazar R, Beenders S, Cornett KM, et al. Validation of insole-based gait analysis system in young children with a neurodevelopmental disorder and autism traits. *IEEE: In2020 8th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*. 2020. pp. 715-20. doi: [10.1109/BioRob49111.2020.9224273](https://doi.org/10.1109/BioRob49111.2020.9224273).
25. Zakaria NK, Tahir NM, Jailani R. Experimental approach in gait analysis and classification methods for autism spectrum disorder: A review. *Int J Adv Trends Comput Sci Eng*. 2020;9(3):3995-4005. doi: [10.30534/ijatcse/2020/224932020](https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/224932020).
26. Eltoukhy M, Oh J, Kuenze C, Signorile J. Improved kinect-based spatiotemporal and kinematic treadmill gait assessment. *Gait Posture*. 2017;51:77-83. doi: [10.1016/j.gaitpost.2016.10.001](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.10.001).
27. Ahmed MH, Sabir AT. Human gender classification based on gait features using kinect sensor. *IEEE:*

- In2017 3rd IEEE international conference on cybernetics (Cybconf). 2017. pp. 1-5. doi: [10.1109/CYBConf.2017.7985782](https://doi.org/10.1109/CYBConf.2017.7985782).
28. Hasan CZ, Jailani R, Tahir NM. ANN and SVM classifiers in identifying autism spectrum disorder gait based on three-dimensional ground reaction forces. IEEE: InTENCON 2018-2018 IEEE Region 10 Conference. 2018. pp. 2436-40. doi: [10.1109/TENCON.2018.8650468](https://doi.org/10.1109/TENCON.2018.8650468).
29. Jazouli M, Elhoufi S, Majda A, Zarghili A, Aalouane R. Stereotypical motor movement recognition using microsoft kinect with artificial neural network. International Journal of Computer and Information Engineering. 2016;10(7):1270-4.
30. Ilias S, Tahir NM, Jailani R. Feature extraction of autism gait data using principal component analysis and linear discriminant analysis. IEEE: In2016 IEEE Industrial Electronics and Applications Conference (IEACon). 2016. pp. 275-9. doi: [10.1109/IEACon.2016.8067391](https://doi.org/10.1109/IEACon.2016.8067391).
31. Safavian SR, Landgrebe D. A survey of decision tree classifier methodology. IEEE Trans Syst Man Cybern Syst. 1991;21(3):660-74. doi: [10.1109/21.97458](https://doi.org/10.1109/21.97458).