

رویکرد سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی مبتنی بر PSO در تشخیص سن با استفاده از تصاویر CBCT سینوس ماگزیلا و پیشانی

مه لقا افراسیابی*

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده. عوامل هویتی مانند سن در شناسایی افراد در پرونده های کیفی اهمیت زیادی دارد. سینوس پیشانی و ماگزیلا در برابر ضربه مقاوم هستند. هدف پژوهش حاضر بررسی قابلیت سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی در تشخیص سن در تصاویر سی تی اسکن با پرتو مخروطی است. در این روش ۲۴۰ تصویر سی تی اسکن با پرتو مخروطی جمع آوری شد و ارتفاع، طول، عرض و حجم سینوس پیشانی و ماگزیلا استخراج شد. سپس برای تشخیص سن یک مدل سیستم استنتاج عصبی فازی ترکیب شده با الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) ارایه شد. نتایج تحقیق نشان می دهد این سیستم دقت خوبی نسبت به روش های دیگر یادگیری ماشین در تشخیص سن دارد.

۱. مقدمه

امروزه تعیین عوامل هویتی مانند سن و جنسیت به دلیل کاربرد آن در پرونده‌های جنایی و مدنی اهمیت قابل توجهی یافته‌است [۶، ۱۸]. این عوامل نقش مهمی در تعیین پروفایل افراد در تحلیل‌های قانونی دارند. پزشکی قانونی برای کسب آگاهی از نیم‌رخ فردی از روش‌هایی مانند معاینه عمومی، رادیوگرافی و تست‌های زیستی تکمیلی استفاده می‌کند [۱۵]. در تصادفات خاص، که استفاده از روش‌های مرسوم بسیار محدود است و ایجاد شناسایی مثبت امکان پذیر نیست، بررسی ساختارهای استخوانی دندانی و لگن به عنوان یک روش قابل اعتماد ظاهر می‌شود [۶، ۱۱]. با این حال، در حوادث خاص مانند سوختگی شدید و تروما، که امکان استفاده از این روش‌ها نیز در دسترس نیست، نیاز به استفاده از ساختارهایی مانند سینوس‌های بینی، از جمله سینوس پیشانی و ماگزیلا وجود دارد که به ضربه خارجی مقاوم هستند. درحوزه پزشکی قانونی، تعیین سن در زمان مرگ به ایجاد نیم‌رخ فرد متوفی کمک می‌کند. این تعیین سن همچنین برای افرادی که به کشورهای خارجی مهاجرت می‌کنند با ارائه هویت‌های غلط ارزشمند است [۴، ۸]. اگرچه در رابطه بین سن و حجم سینوس‌های بینی در مطالعات مختلف اتفاق نظر وجود ندارد، برخی مطالعات نشان داده‌اند که بین حجم سینوس‌ها و افزایش سن رابطه‌ای وجود دارد [۱۸]. مطالعات بیشتر در این زمینه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را به پزشکی قانونی (به منظور تعیین دقیق‌تر سن) ارائه دهد. سینوس ماگزیلا اولین سینوس است که شکل می‌گیرد. این استخوان در استخوان‌های چپ و راست فک بالا قرار دارد. گفته می‌شود که این سینوس در اواخر ماه دوم بارداری شکل می‌گیرد و رشد و نمو آن بین سنین ۱۸ تا ۲۰ سال کامل است [۱۹]. سینوس‌های پیشانی نیز فضاها‌ی پر از هوا هستند که معمولاً در سن ۲ - ۳ سالگی شروع به رشد می‌کنند و این فرآیند در سن ۲۰ سالگی کامل است. این سینوس همچنین به اندازه سینوس ماگزیلا به آسیب محیطی مقاوم است، بنابراین می‌تواند در تعیین پروفایل افراد مورد استفاده قرار گیرد [۷، ۱۱]. تصاویر سی تی اسکن با پرتو مخروطی (CBCT) ^۱ به طور چشمگیری رادیولوژی دهانی و فک و صورت را تغییر داد و نمای سه‌بعدی دقیقی را با اشعه کم‌تر از سی تی اسکن پزشکی ارائه داد [۲۰]. امروزه تصاویر CBCT به طور گسترده در مطالعات تشخیصی و سه‌بعدی بازسازی برای درمان‌های جراحی، ارتودنسی و ایمپلنت دندانی استفاده می‌شوند [۶، ۱۵]. از CBCT در مراکز درمانی می‌توان برای مطالعه ابعاد و حجم سینوس‌ها و بررسی ارتباط آن‌ها با عوامل مختلف از جمله سن استفاده

^۱Cone Beam CT scan

کرد. مطالعات انجام شده، رابطه بین ابعاد سینوس پیشانی یا ماگزایلا و سن را نشان می دهد. [۶، ۷، ۱۱]. اکثر این مطالعات از روش های آماری کلاسیک و مدل های توسعه یافته با استفاده از رگرسیون لجستیک استفاده کرده اند. صحت کلی گزارش شده توسط این مطالعات بین ۷۱ تا ۷۶ درصد متغیر است. روش های آماری دیگری نیز برای طبقه بندی سن افراد از روی تصاویر CBCT ارائه شده، که در این روش ها افراد در گروه سنی مختلف دسته بندی می شوند که هدف تشخیص سن بصورت تقریبی است [۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۱].

در مقالات دیگر نیز برای تشخیص سن در این تصاویر مراحل رشد دندان ها بررسی می شوند [۳، ۱۴]. از جمله در مقاله [۱۳] روشی برای تحلیل مراحل تکاملی دندان عقل و ارتباط آن با سن فرد ارائه شده و سپس به بررسی دقت و کارایی این روش پرداخته شده است. در مقاله [۲] نیز به بررسی ضخامت استخوان فکی باکال پرداخته است و با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، رگرسیون و رگرسیون بردار پشتیبان سن پیش بینی شده است. در مقالاتی که در این حوزه ارائه شده است الگوریتم های یادگیری ماشین نشان می دهد دقت روش های ارائه شده به نسبت خوب است اما تشخیص دقیق سن هنوز نیازمند ارائه روش های نوین است. یکی از ابزارهای دقیق اندازه گیری برای مفاهیم دارای ابهام و غیر خطی، سیستم استنتاج فازی است. در سال های اخیر سیستم قدرتمندی تحت عنوان سیستم استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی در علوم مختلف به کار رفته است. این نوع سیستم های فازی با بهره گیری از آموزش شبکه های عصبی توانسته در جهت تحلیل داده های پیچیده بکار رود. چالش شبکه عصبی این است که گاهی در نقطه محلی گیر می کند و سرعت همگرایی آن کم است. به همین دلیل برای رفع این مشکلات با الگوریتم تکاملی ترکیب می گردند. در این پژوهش از روش سیستم استنتاج فازی-عصبی انطباقی مبتنی برای الگوریتم ازدحام ذرات برای تشخیص سن در تصاویر CBCT استفاده شده است. نتایج نشان می دهد این روش با کمترین خطا (RMSE = ۶.۳۹) نسبت به سایر روش های تشخیص سن عمل می کند. در ادامه در بخش ۲ روش ارائه شده، در بخش ۳ نتایج، در بخش ۴ بحث و در بخش ۵ نتیجه گیری بیان شده است.

۲. روش ارائه شده

یک رابطه غیر خطی بین متغیرهای ورودی و خروجی در تشخیص سن وجود داد. بنابراین در این پژوهش از سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات برای بدست آوردن سن افراد از روی تصاویر CBCT سینوس ماگزایلا و پیشانی استفاده شده است.

در ادامه سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی، الگوریتم ازدحام ذرات، روش استنتاج عصبی فازی انطباقی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات، مجموعه داده و معیارهای ارزیابی بیان شده اند.

۱.۲. سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی.

سیستم استنتاج عصبی فازی از نوع سوگنو است که بر اساس یک سری از داده های آموزشی موجود از فرآیند مربوطه قواعد آن بدست آمده و مقادیر بهینه پارامترهای آن تعیین می شود. در واقع ANFIS^۱ یک سیستم استنتاج فازی است که خودش را با داده های آموزشی تطبیق می دهد. از آنجا که تعیین پارامترهای توابع عضویت در قسمت مقدم قواعد و همچنین تعیین ضرائب قسمت تالی قواعد همانند تعیین وزنهای شبکه عصبی به کمک روش هایی مثل الگوریتم های پس انتشار خطا انجام می شود ANFIS واژه عصبی را به همراه دارد. این سیستم مزایای یک سیستم خبره ی فازی را حفظ می کند؛ در حالی که نیاز به وجود خبره را کاهش می دهد. از طرفی قابلیت یادگیری دارد و از شبکه عصبی برای شناسایی الگو استفاده می کند. به دلیل استفاده از منطق فازی مشکلات مدل سازی در تحلیل داده های پیچیده را کاهش می دهد.

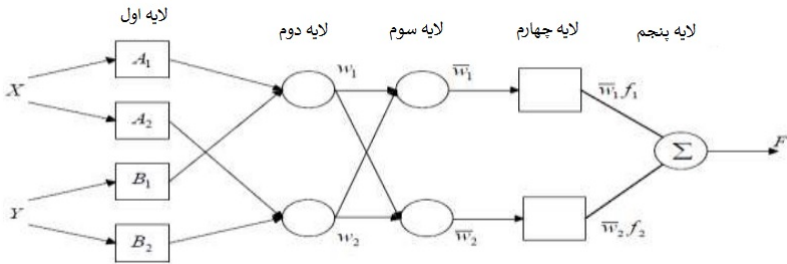
ساختاری که موسوم به سیستم استنتاج فازی- عصبی انطباقی است پنج لایه دارد [۱۰]. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، لایه اول، لایه ورودی و خروجی توابع عضویت است. لایه دوم، لایه قوانین نام دارد و همه گره ها در این لایه ثابت است و در آن قدرت هر قاعده با استفاده از ضرب جبری ارائه می شود. در این لایه، هر گره از حاصل ضرب مقادیر ورودی در لایه قبلی، به دست می آید و ارزش به دست آمده، نشان دهنده قدرت اجرایی قاعده است. لایه سوم، لایه نرمال سازی نام دارد و در آن قدرت قاعده (قانون) نرمال سازی می شود. این لایه وزن قاعده را برای مجموع وزن قواعد، محاسبه می کند. لایه چهارم، لایه انطباقی است و در آن هر گره، یک تابع خطی است و ضرایب این تابع با ترکیبی از تقریب حداقل مجذورات و روش استفاده شده، تعدیل می شود و در نهایت، لایه پنجم که لایه خروجی است و در آن نتایج، به عنوان مجموعه ای از خروجی گره های لایه قبلی، به دست آمده است.

۲.۲. الگوریتم ازدحام ذرات. الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) [۹]

یک روش بهینه سازی است که از رفتار جمعی پرندگان الهام می گیرد. این الگوریتم شامل مجموعه ای از ذرات است که راه حل های بالقوه را نشان می دهند. هر ذره دارای موقعیت X^i و سرعت V^i است که مدام در حال تغییر هستند تا به سمت بهترین موقعیت خود حرکت کنند. کیفیت موقعیت

^۱adaptive neuro-fuzzy inference system

^۲Particle swarm optimization



شکل ۱: ساختار سیستم استنتاج فازی- عصبی انطباقی [۱۰]

یک ذره با استفاده از تابع برازش ارزیابی می‌شود. با در نظر گرفتن بهترین موقعیت (pbest) که ذرات در هر مرحله به آن می‌رسند و بهترین موقعیت که (gbest) از اولین مرحله تا به مرحله مورد بررسی به دست آمده، ذرات سرعت و موقعیت خود را با استفاده از معادله ۱ و ۲ تنظیم می‌کنند و در فضای جستجو حرکت می‌کنند تا به سمت راه‌حل‌های بهتر همگرا شوند.

$$(1) \quad X_{t+1}^i = X_t^i + V_{t+1}^i$$

$$(2) \quad V^i(t+1) = wV^i(t) + c_1r_1(pbest^i - X^i(t)) + c_2r_2(gbest - X^i(t))$$

مقدار r_1 و r_2 عدد تصادفی بین صفر و یک، w ، c_1 و c_2 مقدار ثابت هستند. الگوریتم تا زمانی که یک شرط خاتمه (تعداد تکرار معین، رسیدن به یک شایستگی آستانه عدم تغییر شایستگی) برآورده شود تکرار می‌شود.

۳.۲. روش ANFIS-PSO. ANFIS یک مدل هوشمند است که ترکیبی از سیستم فازی و شبکه عصبی است. ANFIS با استفاده از داده‌های آموزشی، پارامترهای سیستم فازی و وزن‌های شبکه عصبی را تنظیم می‌کند. اما یکی از چالش‌های آن تعیین بهینه پارامترها است. استفاده از روش یادگیری پس انتشار خطا در آموزش ANFIS ممکن است نتایج به نقاط محلی محدود شوند و سرعت همگرایی کم باشد. از طرفی PSO بعلت استفاده از روش تصادفی و گروهی برای جستجوی بهینه در فضای جستجو بزرگتری نسبت به ANFIS به تنهایی عمل می‌کند.

بنابراین در این پژوهش از ترکیب ANFIS و PSO برای تشخیص سن استفاده شده است. ابتدا با استفاده از روش خوشه بندی (روش پیش فرض مورد استفاده در نرم افزار MATLAB

برای تولید سیستم استنتاج فازی) سیستم فازی اولیه ساخته می شود. سپس با استفاده الگوریتم PSO پارامترهای ANFIS مانند پارامترهای سیستم فازی، وزن ها و بایاس های شبکه عصبی را بهینه می شود. تابع برازش در الگوریتم PSO میزان میانگین مربعات خطا سیستم استنتاج فازی مدل به دست آمده برای تشخیص سن است. برای بهتر کردن نتایج پارامترهای الگوریتم PSO با روش آزمون و خطا مورد بررسی قرار گرفته و در هر بار مقدار میانگین مربعات خطا بررسی شده است. در نهایت تعداد جمعیت ۲۵، تعداد نسل ۱۰۰ و مقدار پارامترها الگوریتم PSO در این مقاله $w = 0.99$ و $c_1 = c_2 = 1$ منظور شده است.

۴.۲. مجموعه داده. در این مطالعه تعداد ۲۴۰ تصویر CBCT بیمار ایرانی (شامل ۱۲۹ زن و ۱۱۱ مرد) از آرشیو سی تی اسکن بخش رادیولوژی دهان و فک و صورت دانشکده دندان پزشکی همدان دریافت شد. سن افراد بین ۱۸ تا ۵۲ سال است. تصاویر CBCT با استفاده از دستگاه Newtom ۳G به دست آمده است. سپس این داده ها به نرم افزار ITK - SNAP وارد می شوند، با استفاده از این نرم افزار ویژگی داده ها شامل طول، عرض، ارتفاع و حجم سینوس پیشانی و ماگزینا در دو طرف راست و چپ جمع آوری شده است. در جدول ۱ ویژگی ها معرفی شده است.

جدول ۱: ویژگی های موجود در مجموعه داده

نام ویژگی	توضیحات
سن	سن شرکت کننده به سال
حجم سینوس پیشانی	فضا تاریک (لوسنت) با هوا پر شده داخل استخوان پیشانی
حجم راست و چپ سینوس ماگزینا	فضا تاریک (لوسنت) با هوا پر شده داخل استخوان ماگزینا
طول سینوس پیشانی	فاصله بین قدامی ترین نقطه سینوس و خلفی ترین نقطه
عرض سینوس پیشانی	فاصله بیرونی ترین نقطه سینوس و از داخلی ترین نقطه
ارتفاع سینوس پیشانی	فاصله بین بالاترین نقطه از سقف سینوس تا پایین ترین نقطه کف سینوس
طول راست و چپ سینوس ماگزینا	فاصله بین قدامی ترین نقطه سینوس و خلفی ترین نقطه
عرض راست و چپ سینوس ماگزینا	فاصله بیرونی ترین نقطه سینوس و از داخلی ترین نقطه
ارتفاع راست و چپ سینوس ماگزینا	فاصله بین بالاترین نقطه از سقف سینوس تا پایین ترین نقطه کف سینوس

در این روش ۱۱ ویژگی بعنوان ورودی به سیستم داده شد. خروجی سن افراد است. این مطالعه در نرم افزار MATLAB طراحی شد.

۵.۲. معیارهای ارزیابی. برای مسائل پیش بینی از معیارهایی استفاده می شود که توانایی مدل در یادگیری را نشان دهد، که عمدتاً خطای بین خروجی پیش بینی شده و خروجی مطلوب است. در این پژوهش پنج معیار استفاده شده است که در جدول ۲ معرفی شده اند.

جدول ۲: معیارهای بررسی عملکرد روش های موجود در این پژوهش

نام معیار	مفهوم	فرمول
MAE	میانگین قدر مطلق خطا	$\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - T_i }{N}$
MSE	میانگین مجموع مربعات خطا	$\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - T_i)^2}{N}$
RMSE	مجذور میانگین مجموع مربعات خطا	$\sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - T_i)^2}{N}}$
MAPE	میانگین درصد خطای مطلق	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left \frac{Y_i - T_i}{Y_i} \right $
R^2	ضریب تعیین	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$

در جدول Y مقدار سن واقعی، T مقدار سن پیش بینی شده، \bar{Y} متوسط مقدار سن نمونه ها و N تعداد نمونه هاست.

۳. نتایج

به منظور ارزیابی روش از روش اعتبارسنجی K-fold استفاده شد. در این نوع اعتبارسنجی داده ها به K زیرمجموعه افراز می شوند. هر بار یکی از K زیرمجموعه برای اعتبارسنجی و $K - 1$ تای دیگر برای آموزش استفاده می شود. در نهایت میانگین نتیجه این K بار اعتبارسنجی محاسبه می گردد. مقدار K پنج در نظر گرفته شده است.

روش ارایه شده با چند روش که در یادگیری ماشین استفاده می شوند، مقایسه شده است. در جدول ۳ نتایج نشان داده شده است. مدل ANFIS به عنوان یک روش کلاسیک فازی-عصبی، عملکرد خوبی در تشخیص سن نشان داد، اما به دلیل محدودیت در بهینه سازی پارامترها، دقت آن پایین تر از روش های بهینه شده بود. علاوه بر الگوریتم PSO، الگوریتم ژنتیک (GA) نیز برای بهبود پارامترهای ANFIS بررسی شد. با اضافه کردن الگوریتم ژنتیک به ANFIS، بهبودهایی در نتایج مشاهده شد. GA توانست پارامترهای ANFIS را بهتر تنظیم کند و باعث کاهش خطاهای پیش بینی شد. با این حال، به دلیل ماهیت تصادفی GA و امکان گرفتار شدن در بهینه های محلی، دقت این روش به اندازه ANFIS-PSO نبود. هرچند

R^2 ، بهبود قابل توجهی نسبت به ANFIS ساده نشان داد. بقیه روش های یادگیری ماشین (رگرسیون بردار پشتیبان، شبکه عصبی ، رگرسیون و جنگل تصادفی) نیز در تشخیص سن نتایج خوبی ارائه دادند، اما این روش ها نیز نیاز به تنظیم دقیق پارامترها دارند.

در مجموع، ANFIS-PSO بهترین عملکرد را در بین روش های مورد بررسی داشت. این روش با کاهش خطاهای پیش بینی و افزایش دقت مدل، توانست در معیارهای مختلف از جمله MAE، MAPE، RMSE، MSE و R^2 بهترین نتایج را به دست آورد. این نشان می دهد که ترکیب PSO با ANFIS می تواند بهبودهای قابل توجهی در مدل سازی و پیش بینی ایجاد کند و برای کاربردهای عملی و تشخیص سن در تصاویر CBCT مناسب است.

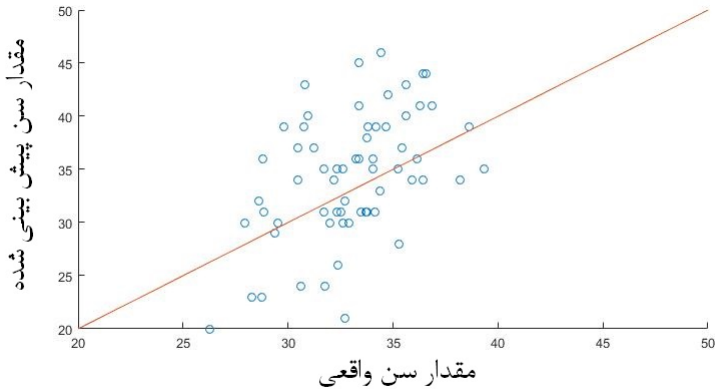
جدول ۳: مقایسه ی خطای تشخیص روش ارائه شده با سایر روش های یادگیری ماشین

R^2	MAPE	RMSE	MSE	MAE	روش
۰/۱	۰/۲۳	۷/۸۶	۶۱/۸۴	۷/۱۰	رگرسیون بردار پشتیبان
۰/۲۳	۰/۲۱	۸/۲۶	۶۸/۲۳	۶/۴۹	شبکه عصبی چندلایه
۰/۱۵	۰/۲۰	۷/۷	۵۹/۴۰	۶/۱۲	رگرسیون
۰/۲	۰/۱۹	۸/۳۰	۶۸/۹۷	۶/۲۴	جنگل تصادفی
۰/۵	۰/۱۸	۶/۹۷	۴۸/۶۴	۵/۵۳	ANFIS
۰/۷۶	۰/۱۷	۶/۵۶	۴۳/۱۱	۵/۳۰	ANFIS-GA
۰/۸۶	۰/۱۶	۶/۳۹	۴۰/۸۷	۵/۱۷	ANFIS-PSO

در شکل ۲ نمودار پراکندگی مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش بینی شده متغیر سن در روش ارائه شده نشان داده شده است.

۴. بحث

در پزشکی قانونی، تعیین سن در زمان مرگ به تعیین هویت فرد کمک می کند. تعیین سن برای افرادی که به کشورهای دیگر مهاجرت کرده اند یا هویت جعلی دارند نیز مفید است. سینوس ماگزایلا و پیشانی، از جمله اجزای مقاوم هستند که می توانند برای تعیین هویت افراد با اندازه گیری حجم و ابعاد آنها مورد استفاده قرار گیرند. در این مطالعه نمونه های تصاویر CBCT افراد شامل ۱۲۹ زن و ۱۱۱ مرد با دامنه سنی ۵۱ - ۱۸ سال مورد بررسی قرار گرفت. ابعاد و حجم سینوس ماگزایلا راست و چپ و سینوس پیشانی اندازه گیری و بعنوان



شکل ۲: نمودارهای پراکندگی مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیر سن در روش ارایه شده

ورودی‌های یک سیستم فازی برای تعیین سن در نظر گرفته شد. تاکنون تلاش‌های کمی برای تعیین سن براساس سینوس ماگزیلا و پیشانی بدست‌آمده انجام شده‌است. در این مطالعه از روش‌های یادگیری ماشین استفاده شده‌است که شامل سیستم فازی، شبکه عصبی، رگرسیون و رگرسیون بردار پشتیبان می‌باشد. سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی مبتنی بر PSO دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی داشته‌است. این روش کمک می‌کند تا روابط غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها مدل‌سازی شود، اما چالش‌هایی نیز دارد از جمله، یافتن پارامترهای مسئله نیاز به آزمون و خطا دارد. از طرفی این روش و سایر روش‌های یادگیری ماشین در تشخیص سن به داده آموزشی زیاد دارند، چون شرایط بالینی افراد متفاوت است و برای هر سنی نیازمند داده زیاد است، پیشنهاد می‌شود از مجموعه داده‌های بزرگ‌تر برای دستیابی به دقت‌های بالاتر استفاده شود. با این حال، نقطه قوت این مطالعه توسعه یک مدل فازی برای تعیین سن بود.

۵. نتیجه‌گیری

تشخیص سن افراد در پزشکی قانونی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله از سیستم استنتاج عصبی فازی انطباقی مبتنی بر PSO در تشخیص سن در تصاویر سی تی اسکن با پرتو مخروطی استفاده شد. ورودی سیستم شامل اطلاعات استخراج شده از سینوس

پیشانی و ماگزیلا در دو طرف راست و چپ می باشد. خروجی سن افراد است. از الگوریتم تکاملی PSO برای بهبود پارامترها و وزن های شبکه عصبی سیستم ANFIS استفاده شده است. روش ارزیابی شده نسبت به سایر روش های موجود خطای کمتری دارد. امید است بتوانیم با ترکیب روش های موجود یادگیری ماشین و الگوریتم های تکاملی دیگر در کارهای آتی دقت روش را بهبود دهیم.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه دندانپزشکی همدان جهت تهیه داده کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [1] Al-Zahrani, Mohammad S., et al. "Prevalence and morphological variations of maxillary sinus septa in different age groups: a CBCT analysis." *Annals of Saudi Medicine* 40.3 (2020): 200-206.
- [2] Boedi, Rizky Merdietio. *CBCT Based Morphological Segmentation Methods for Dental Age Estimation in Adults*. Diss. University of Dundee, 2023.
- [3] Çelik, Hatice, et al. "Application of the Kvaal method to CBCT reconstructed panoramic images for age estimation." *Forensic Science, Medicine and Pathology* (2024): 1-8.
- [4] Chen, J. W., et al. "Assessment of dental maturity of western Chinese children using Demirjian's method." *Forensic science international* 197.1-3 (2010): 119-e1.
- [5] Cho, Seok Hyun, et al. "Factors for maxillary sinus volume and craniofacial anatomical features in adults with chronic rhinosinusitis." *Archives of Otolaryngology–Head AND Neck Surgery* 136.6 (2010): 610-615.
- [6] Choi, Isabela GG, et al. "The frontal sinus cavity exhibits sexual dimorphism in 3D cone-beam CT images and can be used for sex determination." *Journal of forensic sciences* 63.3 (2018): 692-698.
- [7] Cossellu, Gianguido, et al. "Reliability of frontal sinus by cone beam-computed tomography (CBCT) for individual identification." *La radiologia medica* 120 (2015): 1130-1136.
- [8] Cunha, Eugénia, et al. "The problem of aging human remains and living individuals: a review." *Forensic science international* 193.1-3 (2009): 1-13.
- [9] Jain, Meetu, et al. "An overview of variants and advancements of PSO algorithm." *Applied Sciences* 12.17 (2022): 8392.
- [10] Jang, J-SR. "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system." *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* 23.3 (1993): 665-685.

- [11] Paknahad, Maryam, Shoaleh Shahidi, and Zahra Zarei. "Sexual dimorphism of maxillary sinus dimensions using cone-beam computed tomography." *Journal of forensic sciences* 62.2 (2017): 395-398.
- [12] Khojastepour, Leila, et al. "Assessment of the relationship between the maxillary sinus and the canine root tip using cone beam computed tomography." *BMC Oral Health* 21.1 (2021): 1-8.
- [13] Lewis, James M., and David R. Senn. "Dental age estimation utilizing third molar development: A review of principles, methods, and population studies used in the United States." *Forensic science international* 201.1-3 (2010): 79-83.
- [14] Merdietio Boedi R, Shepherd S, Manica S, Franco A. "CBCT in dental age estimation: A systematic review and meta analysis." *Dentomaxillofacial Radiology*. 2022 May 1;51(4):20210335.
- [15] Saccucci, M., et al. "Gender assessment through three-dimensional analysis of maxillary sinuses by means of cone beam computed tomography." *European Review for Medical and Pharmacological Sciences* 19.2 (2015).
- [16] Senol, Deniz, et al. "Sex and age estimation with machine learning algorithms with parameters obtained from cone beam computed tomography images of maxillary first molar and canine teeth." *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 13.1 (2023): 27.
- [17] Tanaka, Lucas Eigi Borges, et al. "Age-and sex-related changes of the volume of maxillary sinuses quantified via cone beam computed tomography." *Research, Society and Development* 10.14 (2021): e312101422220.
- [18] Tatlisumak, Ertugrul, Mahmut Asirdizer, and Mehmet Sunay Yavuz. "Usability of CT images of frontal sinus in forensic personal identification." *Theory and imaging of CT imaging and analysis. In Tech, Croatia* (2011): 257-65.
- [19] Urooge, Ayeesha, and Bharati A. Patil. "Sexual dimorphism of maxillary sinus: a morphometric analysis using cone beam computed tomography." *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR* 11.3 (2017): ZC67.
- [20] Venkatesh, Elluru, and Snehal Venkatesh Elluru. "Cone beam computed tomography: basics and applications in dentistry." *Journal of istanbul University faculty of Dentistry* 51.3 Suppl 1 (2017): 102-121.
- [21] Wu, Xingsheng, et al. "Cone-beam computed tomography-based analysis of maxillary sinus pneumatization extended into the alveolar process in different age groups." *BMC Oral Health* 22.1 (2022): 393.