

A Method for Diagnosing of Alzheimer's Disease Using the Brain Emotional Learning Algorithm and Wavelet Feature**Seyede Behnaz Emami¹, M.Sc, Nasim Nourafza^{1,2}, Assistant Professor, Shervan Fekri-Ershad^{1,2}
Assistant Professor**¹Faculty of Computer Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran²Big Data Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

emami3870@gmail.com, noorafza@iaun.ac.ir, fekriershad@pco.iaun.ac.ir

Abstract

Alzheimer's disease is one of the most common diseases in the 21st century. Alzheimer's patients lose their brain cells gradually and eventually die. It is often diagnosed when the symptoms appear and little work can be done for the patient. Using of learning algorithms is useful for diagnosing of Alzheimer. Previous studies used Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor, and Linear Discriminant Analysis in order to diagnose the disease. These methods have some problems such as low accuracy, high computation complexity or high execute time. Therefore, in this research, a method based on brain emotional learning and wavelet feature is used. First, the white and gray matters of the brain were separated by a threshold selection method. Second, the texture properties of the images were extracted by wavelet transform algorithm. Third, the dimensional reduction is done on the properties extracted by principal component analysis. Finally, the features were classified using Brain Emotional Learning Algorithm and Brain Emotional Learning Based Pattern Recognizer. Results showed that run time of brain emotional learning algorithm is 0.22 second and Brain Emotional Learning algorithm with 95% accuracy and Brain Emotional Learning Based Pattern Recognizer with 97% accuracy are better than Support Vector Machine with 83% accuracy.

Keywords: alzheimer, brain emotional learning algorithm, diagnosis, threshold wavelet**Received:** 8 January 2021**Revised:** 30 March 2021**Accepted:** 5 May 2021**Corresponding Author:** Dr. Nasim Nourafza

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23223871.1401.13.52.5.0>

مقاله پژوهشی

ارائه یک روش تشخیص بیماری آلزایمر با استفاده از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و ویژگی موجک

سیده بهناز امامی^۱، کارشناسی ارشد، نسیم نورافزا^{۱،۲}، استادیار، شروان فکری-ارشاد^{۱،۳}، استادیار

۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- مرکز تحقیقات کلان داده- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
emami3870@gmail.com, noorafza@iaun.ac.ir, fekriershad@pco.iaun.ac.ir

چکیده: آلزایمر از جمله بیماری‌های شایع قرن ۲۱ است و به سبب آن سلول‌های مغزی بیمار به تدریج از بین رفته و بیمار فوت می‌کند. در اکثر مواقع هنگامی این بیماری تشخیص داده می‌شود که علائم آن بروز پیدا کرده و کار چندانی برای بیمار نمی‌توان انجام داد. لذا استفاده از الگوریتم‌های یادگیری برای تشخیص بیماری بسیار مفید است. به همین دلیل تاکنون الگوریتم‌های متفاوتی از جمله نزدیک‌ترین همسایه، آنالیز تشخیص خطی و ماشین بردار پشتیبان برای تشخیص این بیماری استفاده شده است. این روش‌ها دارای نقاط ضعفی از جمله صحت پایین، پیچیدگی محاسباتی بالا و یا زمان اجرای زیادی هستند. بنابراین در این تحقیق، روشی مبتنی بر یادگیری عاطفی مغز و ویژگی موجک استفاده شده است. ابتدا ماده سفید و خاکستری مغز توسط روش آستانه‌گیری تفکیک شدند، در مرحله دوم ویژگی‌های بافت تصاویر توسط الگوریتم تبدیل موجک استخراج گردید، مرحله سوم کاهش بعد روی ویژگی‌های استخراج شده توسط آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام گرفته و در نهایت با استفاده از دو الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو طبقه‌بندی صورت گرفته است. نتایج نشان دادند که زمان اجرای الگوریتم یادگیری عاطفی مغز ۰/۲۲ ثانیه و نیز الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با صحت ۹۵ درصد و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو با صحت ۹۷ درصد بهتر از ماشین بردار پشتیبان با صحت ۸۳ درصد عمل کرده‌اند.

کلمات کلیدی: آلزایمر، آستانه‌گیر، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، الگوریتم یادگیری عاطفی مغز، تبدیل موجک

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر نسیم نورافزا

نشانی نویسنده‌ی مسئول: نجف‌آباد- بلوار دانشگاه- دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد- دانشکده مهندس کامپیوتر

۱- مقدمه

بیماری آلزایمر^۱ (AD) یک نوع اختلال عملکردی مغزی است که در آن به تدریج توانایی‌های ذهنی بیمار تحلیل می‌رود. بارزترین نشانه زوال عقل، اختلال حافظه است که معمولاً به تدریج ایجاد شده و پیشرفت می‌کند. در ابتدا اختلال، حافظه به وقایع و آموخته‌های اخیر محدود می‌شود ولی به تدریج خاطرات قدیمی هم آسیب می‌بینند [۱]. آلزایمر رایج‌ترین شکل زوال عقل است. علائم این بیماری با از دست دادن قدرت حفظ اطلاعات، بخصوص حافظه موقت در دوران پیری آغاز شده و به تدریج با از دست دادن قدرت تشخیص زمان، افسردگی، از دست دادن قدرت تکلم، گوشه‌گیری و سرانجام مرگ در اثر ناراحتی‌های تنفسی به پایان می‌رسد. مرگ پس از پنج تا ده سال از بروز علائم اتفاق می‌افتد؛ اما بیماری حدود بیست سال قبل از ظهور علائم آغاز شده است [۲]. این بیماری علاج ناپذیر را اولین بار روان‌پزشک آلمانی به نام آلویز آلزایمر در سال ۱۹۰۶ میلادی معرفی کرد. آلزایمر زودرس ممکن است زودتر از سن ۶۵ رخ دهد، اما این بیماری غالباً در افراد بالای ۶۵ سال بروز می‌یابد. پزشکان تشخیص را با رد سایر بیماری‌ها و موقعیت‌هایی که می‌توانند موجب کاهش حافظه گردند شروع می‌کنند، با توجه به رشد صعودی این بیماری لاعلاج تشخیص سریع این بیماری بسیار حائز اهمیت است [۳].

موجودات زنده از سلول گرفته تا ارگان‌های بدن، سیگنال‌هایی با منشأ بیولوژیکی تولید می‌کنند. این سیگنال‌ها به صورت الکتریکی، مکانیکی یا شیمیایی‌اند. سیگنال‌هایی که توسط ارگان‌های بدن تولید می‌شوند باهم دیگر مخلوط شده یا تحت تأثیر نویز قرار می‌گیرند [۴]. منظور از پردازش سیگنال‌های حیاتی جدا کردن سیگنال مورد نظر از سیگنال‌های درهم آمیخته و نویز دار و سپس استخراج پارامترهای مفید سیگنال است. این پارامترها برای تشخیص پزشکی به کار برده می‌شوند. ام-آر-آی یا روش تصویر برداری با تشدید مغناطیسی یکی از روش‌های پیشرفته تصویر برداری پزشکی است. با استفاده از این روش می‌توان تصویر چینی جاهای درونی بدن را دید و از آن طریق مشکلات و بیماری‌های اعضای بدن را تشخیص داد [۵]. در ام-آر-آی از میدان مغناطیسی قوی، امواج رادیویی و کامپیوتر برای تولید عکس از مغز و سایر قسمت‌های مجسمه استفاده می‌شود که بسیار شفاف‌تر و دقیق‌تر از عکس‌هایی است که با روش‌های دیگر گرفته می‌شود. همچنین زوال عقلی ناشی از بیماری عروقی مغز، آثار تنگی عروق مغزی و سکت‌های ریز و متعدد همراه با کوچک شدن مغز را می‌توان دید [۶].

برای تبدیل یک تصویر مقیاس خاکستری به تصویر دودویی، باید یک حد آستانه تعیین نمود. همچنین استخراج ویژگی فرآیندی است که در آن با انجام عملیاتی بر رویدادها، ویژگی‌های بارز و تعیین‌کننده آن مشخص می‌شود و به این ترتیب می‌توان ویژگی‌های تصویر را استخراج نمود. روش‌های مختلفی برای استخراج ویژگی تصاویر وجود دارد. از جمله این روش‌ها الگوریتم تبدیل موجک و روش‌های آماری است. تبدیل موجک روشی است که داده‌های تصویر را به وسیله تبدیل و تأخیر تابع پایه‌ای که موجک نامیده می‌شود شبیه‌سازی می‌کند و تصویر را به زیر باندهای مختلف فرکانسی می‌برد که آنالیز این زیر باندهای تولید شده می‌تواند اطلاعاتی راجع به تصویر دهد [۷]. آنالیز مؤلفه اصلی همان‌طور که از نامش پیداست می‌تواند مؤلفه‌های اصلی را شناسایی کند و ویژگی‌هایی را که ارزش بیشتری فراهم می‌کنند استخراج می‌کند [۸].

یکی از عواملی که به تازگی با الهام از سیستم‌های زیستی به‌عنوان عامل مهم در تصمیم‌گیری وارد عرصه هوش مصنوعی شده، عاطفه است [۶]. در سال‌های اخیر تمایل شدیدی نسبت به روش‌های رفتاری مثل عاطفه در مسائل تصمیم‌گیری وجود داشته است. فرآیند تصمیم‌گیری در مغز انسان محدود به محاسبه و منطقی که توسط قشر فوقانی انجام می‌گیرد نیست، بلکه عواطف که منشأ آن‌ها در مخچه و مغز میانی است نیز در آن دخیل هستند [۹]. در حدود سال ۱۹۲۷، با آزمایشی که توسط پاولوف بر روی فرایند یادگیری یک سگ انجام شد، تحولی در علوم بیولوژیکی شکل گرفت. آزمایش به این طریق بود که سگ به صدای زنگ برای غذا خوردن شرطی شده و پس از مدتی با شنیدن صدای زنگ و بدون وجود غذا رفتارهای احساسی از خود نشان می‌داد در هنگام دیدن غذا از او سر می‌زد. این آزمایش خط بطلانی بر نظریاتی داشت که گفته می‌شد عاطفه عامل منفی در تصمیم‌گیری است. در کوشش‌هایی که در دهه ۸۰ برای شناخت فرایند تصمیم‌گیری عاطفی انجام شده بود سیستم عاطفی به‌صورت یک سیستم خبره معرفی شد [۱۰]. علم شناخت شاخه‌ای از علوم است که به بررسی و مدل‌سازی پدیده‌های طبیعی می‌پردازد. مورن و بالیکنوس محققان علم شناخت در ادامه تلاش‌هایشان رفتارهای عاطفی را مدل کردند. ایده اصلی در تصمیم‌گیری بر اساس یادگیری عاطفی این است که سیستم دسته‌های متفاوتی از سیگنال احساسی را دریافت و خروجی را

تولید می‌کند [۱۱]. این رفتارها در قسمتی از مغز به نام لیمبیک رخ می‌دهد. مهم‌ترین بخش لیمبیک که وظیفه شرطی‌سازی را بر عهده دارد آمیگدال است. این بخش که شکلی شبیه بادام دارد در تولید پاسخ هیجانی شرکت می‌کند. شواهد بسیاری نشان می‌دهند که یادگیری در آمیگدال اتفاق می‌افتد آمیگدال ورودی‌ها را از نواحی مختلف مثل ورودی حسی، اوربیتوفرانثال و تالاموس دریافت می‌کند [۱۲]. در برخی از موجودات از جمله انسان آمیگدال نقش اساسی در ذخیره اطلاعات و خاطرات مرتبط با رویدادهای هیجانی دارد همچنین تصور می‌شود که آمیگدال مسئول پاسخگویی به محرک‌های جدیدی است که انسان تابه‌حال با آن‌ها مواجه نشده است. این محرک ممکن است هیچ شباهتی نیز به محرک‌های قبلی نداشته باشد. در این حالت هم آمیگدال بر اساس تجربیات هیجانی گذشته به این محرک پاسخ داده سپس آن را نیز به تجربیات قبلی خود اضافه خواهد کرد [۱۳]. در واقع الگوی BEL برگرفته از عملکرد عاطفی مغز در زمان یادگیری است.

امروزه با کمک تکنولوژی و کامپیوتر، بسیاری از محاسبات و تشخیص‌ها از جمله تشخیص بیماری آلزایمر به صورت دیجیتال صورت می‌گیرد. تحقیقات بسیاری در زمینه مغز، تصاویر ام-آر-آی مغزی و تشخیص بیماری آلزایمر صورت گرفته است. حجت‌اله واهب از مورفومتری مبتنی بر وکسل برای تعیین اختلاف تراکم ماده خاکستری در نواحی مغزی بین افراد سالم و افراد مبتلا به آلزایمر استفاده کرده است که در بیماران آلزایمری بیشینه است [۱۴]. گلن فانگ و همکاران، جهت تشخیص زودهنگام آلزایمر، با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، به طبقه‌بندی تصاویر مغزی پرداختند. در مجموع ۱۵۸ نفر انتخاب شدند، سپس با استفاده از تصویربرداری پرفیوژن اسپکت برای تشخیص بیماری آلزایمر، تفاوت بین تصاویر افراد سالم و بیماران مبتلا به بیماری آلزایمر بررسی شد و به نرخ صحت ۹۰ درصد رسید [۱۵]. جورج داکارت و همکاران از ۲۸ فرد آلزایمری و ۲۸ فرد سالم پایگاه داده ADNI^۲ استفاده کردند. سپس با داده‌هایی از ۲۱ فرد مبتلا به آلزایمر و ۱۳ فرد گروه لایپزیگ مقایسه شده است. در طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با استفاده از حجم مفید اطلاعات، از اف-دی-جی-پت و ام-آر-آی بر اساس تجزیه و تحلیل سندرم زوال عقل، نشان داد که ماشین بردار پشتیبان با نرخ صحت ۹۱ درصد روشی مناسب برای طبقه‌بندی است [۱۶]. ژین لو و همکاران ۴۱۳ نمونه از افراد سالم و بیمار انتخاب کردند. در این کار به طبقه‌بندی تصاویر مغزی بر اساس برخی مشخصه‌های آن مثل ضخامت، شکل و غیره پرداخته شده است. برای طبقه‌بندی تصاویر در این مقاله از روش تعبیه خطی به شکل محلی استفاده شد و به نرخ صحت ۹۶ درصد رسید [۱۷]. سایکی لئو و همکاران یک مدل تشخیص آلزایمر با یادگیری عمیق به روش سافتمکس و خود رمزگذار طراحی کردند. از مجموعه داده ADNI، ۳۱۱ عکس ام-آر-آی و پت از دو گروه دارای اختلال خفیف و افراد سالم، تهیه شده است. آن‌ها یک روش جدید برای تشخیص زودهنگام آلزایمر و اختلال خفیف شناختی بر اساس یادگیری عمیق ارائه کردند که به نرخ صحت ۸۳ درصد رسیدند [۱۸]. ایمان بهشتی به کمک تابع توزیع احتمال مبتنی بر طبقه‌بندی ام-آر-آی به تشخیص بیماری آلزایمر رسید. برای انجام این کار از مجموعه داده ADNI با ۲۶۰ نفر که ۱۳۰ نفر افراد سالم و ۱۳۰ نفر بیمار بودند استفاده شد. روش شامل چند بخش است: روش مورفومتری مبتنی بر وکسل، خوشه‌بندی وکسل به شرح VOIS، استفاده از تابع آماری توزیع احتمال برای انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی با ماشین بردار پشتیبان انجام و به نرخ صحت ۸۹ درصد رسیدند [۱۹]. ایمان بهشتی در کار بعدی با رتبه‌بندی ویژگی‌ها بر اساس طبقه‌بندی ام-آر-آی ساختاری به تشخیص بیماری آلزایمر پرداخت. سیستم به کار رفته در این تحقیق شامل ۱۳۶ نمونه، ۶۸ تصویر مغزی از افراد سالم و ۶۸ تصویر از افراد بیمار از مجموعه داده ADNI تهیه شده است. سیستم طبقه‌بندی پیشنهادی شامل ۵ سطح است: روش مورفومتری مبتنی بر وکسل - خوشه‌بندی وکسل - استخراج ویژگی بین دو گروه افراد سالم و بیمار به کمک آزمون T - طبقه‌بندی با ماشین بردار پشتیبان و استفاده از روش هم‌جوشی داده‌ها برای بهبود عملکرد طبقه‌بندی بر اساس خوشه آتروفی و به نرخ صحت ۹۶ درصد رسیدند [۲۰]. ایمان بهشتی در تحقیقی دیگر جهت تشخیص بیماری آلزایمر با استفاده از رتبه‌بندی ویژگی‌ها و خطای طبقه‌بندی از ام-آر-آی ساختاری استفاده کرد. برای کاهش ویژگی‌های آماری، تابع توزیع احتمال معرفی شده است. این روش شامل ۴ بخش: روش مورفومتری مبتنی بر وکسل - خوشه‌بندی وکسل - طبقه‌بندی با ماشین بردار پشتیبان - انتخاب ویژگی با هفت روش: ۱. وابستگی آماری، ۲. اطلاعات متقابل، ۳. کسب اطلاعات، ۴. ضریب همبستگی پیرسون، ۵. نمره آزمون، ۶. معیار فیشر و ۷. شاخص جینی است. سیستم به کار رفته شامل ۱۳۶ نمونه، ۶۸ تصویر مغزی از افراد سالم و ۶۸ تصویر از افراد بیمار از مجموعه داده ADNI تهیه شده است و به نرخ صحت ۹۲ درصد رسیدند [۲۱]. مسیه پلوچا و همکاران به کمک استخراج ویژگی‌های سطحی

داخلی شیار مغزی بیماری آلزایمر را با استفاده از ویژگی‌های شیار مغزی طبقه‌بندی کردند. استخراج ویژگی‌های شیار مغزی با استفاده از محاسبه سطح داخلی شیار مغزی برای طبقه‌بندی افراد سالم و بیمار به‌کاررفته است. برای این کار ۲۱۰ نفر از پایگاه داده ADNI انتخاب شدند و به نرخ صحت ۸۷ درصد رسیدند [۴]. لن سورسنا و همکاران برای تشخیص افتراقی اختلال شناختی خفیف و بیماری آلزایمر از ام-آر-آی ساختاری، ضخامت قشر مغز، شکل هیپوکامپ، بافت هیپوکامپ و اندازه‌گیری حجم کمک گرفتند. برای تشخیص تفاوت افراد سالم، اختلال شناختی خفیف و آلزایمر به‌طور هم‌زمان بر اساس یک اسکن ام-آر-آی ساختاری پرداخته شد. داده‌ها از پایگاه داده ADNI به‌دست آمد. این ترکیب با وارد کردن تمام نشانگرهای زیستی در یک طبقه‌بندی خطی، آنالیز تشخیصی خطی ویژگی‌های را به‌دست آورده و تشخیص افتراقی هم‌زمان افراد سالم، اختلال شناختی خفیف و آلزایمر انجام شد و به نرخ صحت ۶۲ درصد رسیدند [۲۲]. فنگ ژانگ و همکاران ۵۸ عکس از افراد بیمار و ۹۴ عکس از افراد سالم از مجموعه داده‌های ADNI را مورد استفاده قرار دادند. برای انجام این تحقیق تصاویر ام-آر-آی مغزی مورد بررسی قرار گرفته شده است به این شکل که ابتدا ناحیه سفید و خاکستری مغزی از هم جدا شده سپس توسط روش‌های فیلترگذاری استخراج ویژگی انجام شده است و در نهایت به کمک شبکه عصبی ELM طبقه‌بندی انجام شده است و به نرخ صحت ۹۶ درصد رسیدند [۲۳]. ایمان بهشتی و همکاران، تصاویر ام-آر-آی مغزی را در دودسته، گروه یک شامل ۱۳۶ عکس از افراد سالم و بیمار و گروه دو شامل ۳۲۲ نمونه از پایگاه داده ADNI تهیه کردند. این کار در ۴ مرحله انجام شد: ۱- استفاده از یک تکنیک مورفومتری و کسل بر اساس بررسی ماده خاکستری آتروفی در یک گروه بیمار در مقایسه با افراد سالم، ۲- استخراج مقادیر و کسل از آتروفی مربوطه، ۳- انتخاب ویژگی با آزمون تی و طراحی الگوریتم ژنتیک برای انتخاب زیرمجموعه ویژگی‌ها، همچنین معیار فیشر به‌عنوان بخشی از تابع هدف در الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و ۴- طبقه‌بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان انجام گرفت و به نرخ صحت ۹۳ درصد رسیدند [۲۴]. ایمان علی و همکاران برای تشخیص خودکار و طبقه‌بندی ام-آر-آی بیماری آلزایمر از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری استفاده کردند که از چهار مرحله شامل پیش‌پردازش، بخش‌بندی، استخراج ویژگی و طبقه‌بندی تشکیل شده است. آن‌ها از ۴۱۶ تصویر از پایگاه داده اسپیس^۳ استفاده کردند و به نرخ صحت ۹۶ درصد رسیدند [۲۵]. عبدالله گاد و همکاران به طبقه‌بندی خودکار بیماری آلزایمر توسط یادگیری ماشین بر اساس انتخاب مناطق ام-آر-آی پرداختند. برای این کار ۱۲۰ عکس از مرکز آلزایمر ملی تهیه نمودند و طی مراحل پیش‌پردازش داده‌ها، استخراج ویژگی‌های تصاویر، انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی تصاویر به دو روش ماشین بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایگی به طبقه‌بندی پرداختند و به نرخ صحت ۹۵ درصد رسیدند [۲۶]. این روش‌ها دارای نقاط ضعفی از جمله صحت پایین، پیچیدگی محاسباتی بالا و یا زمان اجرای زیادی هستند. در جدول (۱) تعدادی از مقالات تشخیص بیماری آلزایمر با استفاده از مجموعه داده ADNI که در این تحقیق بررسی شده‌اند اشاره شده است.

اگرچه تاکنون به کمک روش‌هایی چون ماشین بردار پشتیبان، جستجوی نزدیک‌ترین همسایه و آنالیز تشخیص خطی به تشخیص این بیماری پرداخته شده است، این روش‌ها دارای نقاط ضعفی از جمله صحت پایین، پیچیدگی محاسباتی بالا و یا زمان اجرای زیادی هستند. لذا در این پژوهش برای تشخیص بیماری آلزایمر از ویژگی موجک و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز^۴ استفاده شده است. ابتدا ماده سفید و خاکستری مغز توسط روش آستانه‌گیری تفکیک شدند، سپس ویژگی‌های بافت تصاویر توسط الگوریتم تبدیل موجک استخراج گردید. مرحله بعد کاهش بعد روی ویژگی‌های استخراج شده توسط آنالیز مؤلفه‌های اصلی انجام گرفته و در نهایت با استفاده از دو الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو طبقه‌بندی صورت گرفته است. در ادامه مقاله در بخش ۲ روش کار توضیح داده شده است، در بخش ۳ ارزیابی و مقایسه آورده شده و در بخش ۴ به نتیجه‌گیری کلی پرداخته شده است.

۲- روش کار

روش‌هایی که تاکنون برای تشخیص بیماری آلزایمر استفاده شده‌اند دارای نقاط ضعفی از جمله صحت پایین، پیچیدگی محاسباتی بالا و یا زمان اجرای زیادی هستند. بنابراین در این تحقیق، روشی مبتنی بر یادگیری عاطفی مغز و ویژگی موجک استفاده شده است.

Table (1): Results of Alzheimer's disease review articles

جدول (۱): نتایج بررسی مقالات بیماری آلزایمر

ردیف	نام نویسنده/سال	الگوریتم	ردیف	نام نویسنده/سال	الگوریتم
۱	حجت ا...واهب / ۲۰۰۶ [۱۴]	روش‌های آماری	۸	ایمان بهشتی / ۲۰۱۵ [۲۱]	ماشین بردار پشتیبان
۲	گلن فانگ و جانانان استوکل / ۲۰۰۶ [۱۵]	ماشین بردار پشتیبان	۹	مسیه پلو چا و همکارانش / ۲۰۱۶ [۴]	ماشین بردار پشتیبان
۳	جور جن داکارت و همکاران / ۲۰۱۳ [۱۶]	ماشین بردار پشتیبان	۱۰	ایمان ام علی و همکاران / ۲۰۱۶ [۲۵]	الگوریتم درخت تصمیم‌گیری
۴	ژین لو و همکاران / ۲۰۱۳ [۱۷]	روش تعبیه خطی به شکل محلی	۱۱	عبدالله گاد و همکاران / ۲۰۱۶ [۲۶]	ماشین بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایه
۵	سایکی لئو و همکاران / ۲۰۱۴ [۱۸]	یادگیری عمیق	۱۲	ایمان بهشتی و همکاران / ۲۰۱۷ [۲۴]	الگوریتم ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان
۶	ایمان بهشتی / ۲۰۱۵ [۱۹]	تابع توزیع احتمال	۱۳	لن سور سنا و همکاران / ۲۰۱۷ [۲۲]	آنالیز تشخیصی خطی
۷	ایمان بهشتی / ۲۰۱۵ [۲۰]	آزمون آماری-ماشین بردار پشتیبان	۱۴	فنگ ژانگ و همکاران / ۲۰۱۹ [۲۳]	شبکه عصبی ماشین یادگیری حداکثر

مزیت الگوریتم یادگیری عاطفی مغز، محاسبات ساده و سرعت تشخیص بالا است. روش پیشنهادی در این تحقیق شامل سه مرحله اصلی پیش‌پردازش، استخراج ویژگی و طبقه‌بندی است که در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۱- مجموعه داده

در ابتدا ۲۰۰ عکس شامل تصاویر ام آر آی مغزی از سایت ADNI تهیه گردید. این تصاویر شامل ۱۱۰ عکس از افراد سالم و ۹۰ عکس از بیماران مبتلا به آلزایمر بود. مشخصات این تصاویر در جدول شماره (۲) آورده شده است. مطابق جدول اطلاعات مربوط به تعداد تصاویر مغزی، سن افراد، جنسیت افراد و نمره بالینی کلینیکی^۵ مربوط به بیماران آلزایمری و افراد سالم^۶ مشخص شده‌اند [۴].

۲-۲- پیش‌پردازش

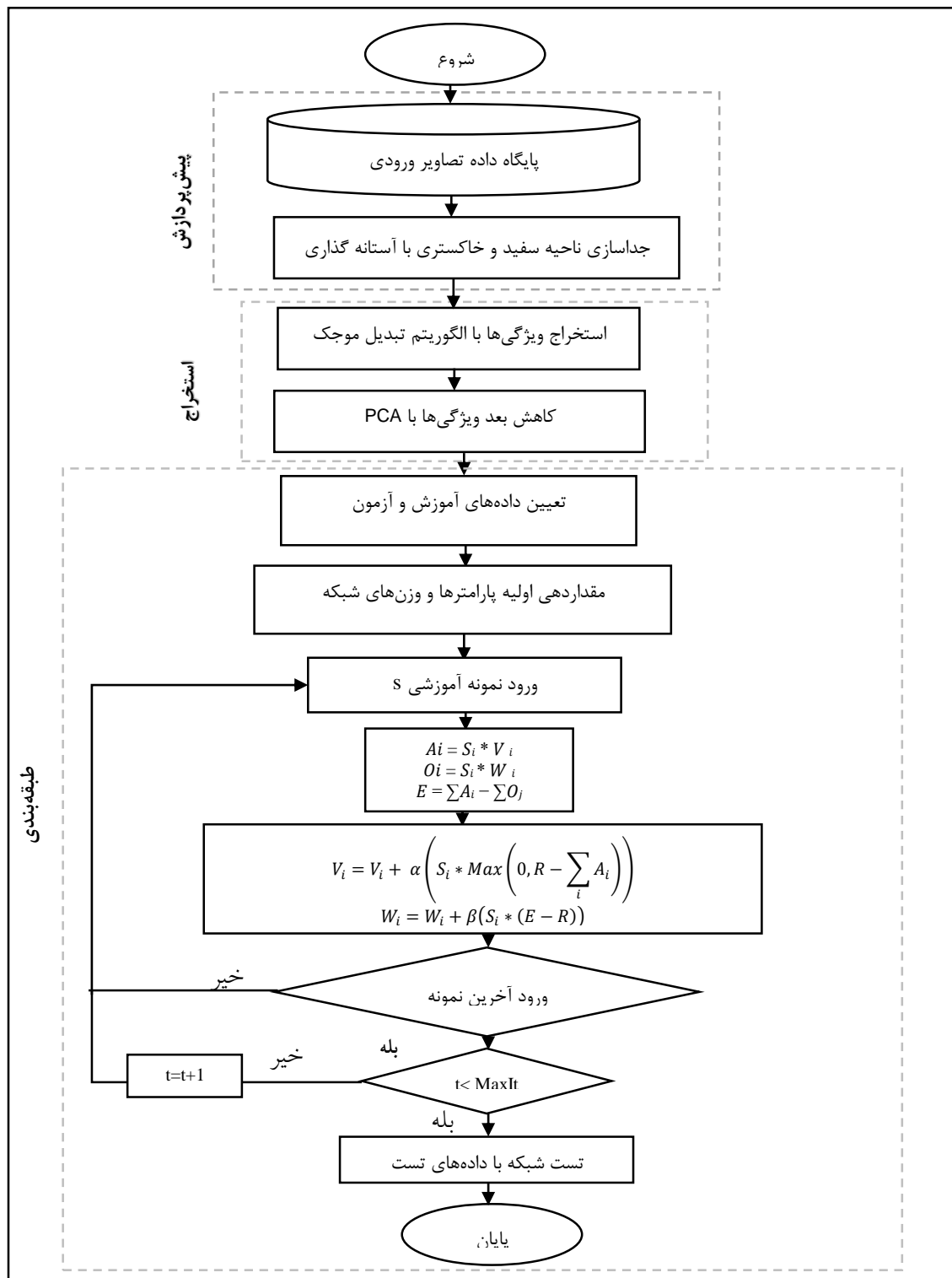
برای تشخیص بیماری آلزایمر از تصاویر ام-آر-آی مغزی استفاده شده است که جهت نرمال‌سازی تصاویر ابتدا سایز تمامی عکس‌ها به ۱۷۶×۲۸۸ تبدیل شده و یکسان شده است و سپس تصاویر به باینری تبدیل شده‌اند و پس از آن قسمت سفید و خاکستری مغز تفکیک گردید.

۲-۲-۱- جداسازی ماده سفید و خاکستری بر اساس تکنیک آستانه گذاری

آستانه‌گذاری یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای بخش‌بندی تصویر است. با اعمال روش آستانه‌گذاری بر روی یک تصویر مقیاس خاکستری، تصویر باینری به دست می‌آید که مرز اشیا حاضر در تصویر با دقت مناسبی مشخص می‌گردد [۸]. از آنجاکه در تصاویر ام-آر-آی پیکسل‌های سفید و خاکستری هر تصویر در محدوده متفاوتی هستند، می‌توان توسط روش آستانه‌گذاری ماده سفید و خاکستری تصاویر مغزی را تفکیک نمود. به این منظور برای جداسازی ماده سفید محدوده ۷۵ تا ۱۲۸ و ماده خاکستری محدوده ۴۰ تا ۷۰ در نظر گرفته شده است. شبه کد این روش در شکل (۲) نشان داده شده و تأثیر اعمال آن روی یک تصویر در شکل (۳) آورده شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود تصویر (۱) حجم کل مغز را نشان می‌دهد که بعد از انجام آستانه‌گذاری ماده سفید و ماده خاکستری استخراج شده از آن به ترتیب در تصاویر (۲) و (۳) مشخص گردیده است.

۲-۳- استخراج ویژگی

هر تصویر مغزی دارای خصوصیتی است که توسط آن‌ها می‌توان ویژگی‌های تصویر را به‌دست آورد، ویژگی‌های بافتی نقش مهمی در شناسایی ماهیت تصاویر پزشکی بازی می‌کنند. در این مقاله جهت استخراج ویژگی‌های بافتی از دو روش الگوریتم تبدیل موجک و روش‌های آماری استفاده شده است.



شکل (1): فلوجارت تشخیص بیماری آلزایمر با استفاده از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز
Figure (1): Flowchart of diagnosing Alzheimer's disease using brain emotional learning

Table (2): ADNI Dataset Specifications
جدول (۲): مشخصات مربوط به دیتاست ADNI

	فرد آزیمری	فرد سالم
تعداد تصاویر	۹۰	۱۱۰
سن	۶۰-۸۲	۶۶-۹۶
جنسیت (M/F)	۴۵/۴۵	۵۵/۵۵
نمره بالینی کلینیکی (۰/۱/۲)	(۰/۸۷/۳)	(۱۱۰/۰/۰)

۲-۳-۱- الگوریتم تبدیل موجک

تبدیل موجک در مقیاس‌هایی که مشخصه‌های وابسته به زمان جذاب‌تر هستند، دارای رزولوشن بالاتر در حوزه زمان و در مقیاس‌هایی که مشخصه‌های وابسته به فرکانس جذاب‌تر هستند، دارای رزولوشن بالاتر در حوزه فرکانس است. این نوع مصالحه دقیقاً همان هدفی است که در پردازش سیگنال موردنظر است. موجک ابزاری برای تبدیل یک تابع یا داده‌هایی به اجزاء فرکانس‌های مختلف و مطالعه هر جزء با رزولوشن‌های مختلف برای کاربردهای گوناگون است. برای استخراج اندازه ویژگی بافت از تصویر می‌توان از تبدیل موجک استفاده کرد که آن تصویر را به دو زیر باند فرکانس پایین و فرکانس بالا تقسیم می‌کند. تبدیل موجک روشی است که داده‌های تصویر را به وسیله تبدیل و تأخیر تابع پایه‌ای که موجک نامیده می‌شود شبیه‌سازی می‌کند و تصویر را به زیر باندهای مختلف فرکانسی می‌برد که آنالیز این زیر باندهای تولید شده می‌تواند اطلاعاتی راجع به تصویر فراهم کند. وقتی تبدیل موجک بر روی تصاویر دوبعدی اعمال شود چهار زیر باند تولید می‌کند. هر زیر باند شامل اطلاعات مهم و حساسی هست. از زیر باندهای فرکانس بالا اطلاعاتی راجع به لبه‌های عمودی، افقی و قطری استخراج می‌شود. ویژگی‌های یک تصویر می‌تواند توسط ضرایب موجک به دست آید.

Algorithm2: Thresholding

1. **Input:** Image ImIn Threshold1, Threshold2.
2. **Output:** Image Im ut
3. Begin
4. Assign to h,w size of Image ImIn.
5. **For** i=1:h
6. **For** j=1:w
7. **If** ImIn(i, j)< Threshold1 || ImIn(i, j) > Threshold2
8. Imout=0;
9. **end if**
10. **end for**
11. **end for**
12. **end**

شکل (۲): شبه کد تکنیک آستانه گذاری

Figure (2): The pseudo code of threshold



شکل (۳): استخراج شده از تصاویر مغزی، (۱) حجم کل مغز، (۲) ماده سفید، (۳) ماده خاکستری

Figure (3): Extracted from brain images, (1) total brain volume, (2) white matter, (3) gray matter

در این پژوهش جهت استخراج ویژگی از تبدیل موجک استفاده شده است که طبق عملکرد موجک تصویر مغزی به موجک داده شده و هر تصویر به سه کانال تقسیم شده که برای هر کانال موجک DB4 اعمال شده است و در هر مرحله ویژگی‌های تصویر از بافت تصویر استخراج گردیده است. دلیل انتخاب موجک به همین خاطر است که تا چندلایه نفوذ کرده و ویژگی‌های بافت را به درستی با حساسیت بالا استخراج می‌کند و در تصاویر مغزی ام-آر-آی که بافت لایه لایه دارد تبدیل موجک ویژگی‌ها را به خوبی استخراج می‌کند [۸]. تابع دابچیز از پرکاربردترین توابع ویولت است. این تابع علاوه بر این که در مرتبه‌های مختلف و در زمینه های متفاوتی به کار رفته است پایه و اساس توابع دیگری چون سیملت و کویفلت نیز هستند. خصوصیت متمم بودن تابع دابچیز موجب شده است که هم در تبدیل ویولت پیوسته و هم در تبدیل ویولت گسسته به کار رود. تعداد لحظات برابر با صفر این تابع نیز سبب استفاده از آن در کاربردهای مهندسی شده است.

۲-۳-۲- روش‌های آماری

در روش محاسبات آماری پارامترهای مرتبه آماری، محاسباتی مکانی هستند که پاسخ آن‌ها بر اساس رتبه‌بندی پیکسل‌های تصویر است. در این پژوهش جهت استخراج ویژگی از دو تابع میانگین و نسبت حجم پردازشی به حجم کل، استفاده شده است. الف- میانگین: بر اساس داده‌های غربال شده برای محاسبات پارامتریک، میانگین ماتریس‌های ورودی محاسبه شده و به عنوان مقدار شاخص میانگین ورودی، ارائه می‌گردد. میانگین ماتریس خاکستری و سفید هر تصویر جداگانه محاسبه و در ماتریس جدیدی قرار داده شده است.

ب- نسبت حجم پردازشی به حجم کل: هر تصویر ورودی، (حجم کل) حجم مشخصی از مربع کلی تصویر و متفاوت نسبت به ورودی دیگر را دربر می‌گیرد. شاخص ورودی تفکیک شده (ماده خاکستری و سفید) نیز حجم مشخصی از خروجی پردازش اولیه را دارد. نسبت حجم شاخص ورودی به حجم کل شناسایی شده از تصویر اصلی ورودی، عددی اعشاری است که با ارائه درصدی آن می‌توان به یک تناسب استاندارد از پردازش داده‌های ورودی رسید و جواب که ویژگی تصویر است را در ماتریس جدید قرار داد [۸].

در این مقاله ابتدا جهت توصیف محتویات تصاویر شامل ماده سفید و ماده خاکستری، از توصیف‌گر تبدیل موجک استفاده شده است و ضرایب تبدیل موجک به عنوان ویژگی در قالب ماتریس تعریف شده است. برای هر گروه ویژگی‌ها به صورت مجزا استخراج شده و در نهایت این دو ماتریس کنار هم قرار داده شده‌اند. برای یک عکس مجموع ویژگی‌ها که شامل ویژگی ماده سفید و خاکستری است معادل ۷۰۵۲۷ ویژگی است. ویژگی ماده سفید برابر ۳۵۲۶۳ و ماده خاکستری نیز ۳۵۲۶۳ ویژگی است. این ویژگی‌ها حاصل بررسی پیکسل‌های تصاویر ام-آر-آی مغزی است.

۲-۳-۳- کاهش بعد

تعداد ویژگی‌های استخراج شده توسط تبدیل موجک پایه، بالا بوده که لزوماً دقت تشخیص را افزایش نداده ولیکن منجر به افزایش بار محاسباتی و زمان اجرا می‌شود. در روش کاهش بعد داده‌ها به فضای ویژگی با ابعاد کمتر انتقال می‌یابد بنابراین هدف آن است که داده‌هایی با تعداد کمتری متغیر جایگزین داده‌های اولیه شود.

روش آنالیز مؤلفه اصلی^۷ بهترین روش برای کاهش ابعاد داده به صورت خطی است. چراکه با حذف ضرایب کم اهمیت به دست آمده از این تبدیل، اطلاعات از دست‌رفته نسبت به روش‌های دیگر کمتر است. هدف از آنالیز مؤلفه اصلی پیدا کردن گروه‌های کوچک‌تری از متغیرهای اساسی است که بتوانند داده‌ها را توصیف کنند. برای انجام این کار باید چند عنصر اصلی اول بتوانند پراکندگی زیادی از داده‌های اولیه را تشکیل دهند [۸].

الگوریتم آنالیز اصلی شامل چندین مرحله است که عبارتند از: ۱- انتخاب داده، ۲- کم کردن میانگین داده‌ها، ۳- محاسبه ماتریس کوواریانس، ۴- محاسبه بردارهای ویژه و مقادیر ویژه، ۵- انتخاب مؤلفه‌ها و ساختن بردار ویژگی‌ها که در واقع ماتریسی از بردارها است. این ماتریس شامل آن دسته از بردارهای ویژگی است که باید نگهداری شوند و ۶- به دست آوردن داده‌های جدید [۲۷].

در این پژوهش از روش آنالیز مؤلفه اصلی برای کاهش تعداد ویژگی‌ها استفاده شد و ویژگی یک عکس که ۷۰۵۲۷ بود به ۱۸۷ ویژگی به‌زای هر تصویر تغییر یافت. مقدار ۱۸۷ به این جهت استفاده شد که مقدار بیشتر باعث ناهمگونی ماتریس ویژگی‌ها شده و نتیجه مطلوب به‌دست آورده نشد، بنابراین با انجام آزمایش‌های مختلف با تعداد ویژگی‌های متفاوت عدد ۱۸۷ بهترین جواب بود.

۲-۴- طبقه‌بندی

به‌منظور طبقه‌بندی یا تشخیص فرد بیمار و سالم از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز (BEL) و یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو^۸ (BELPR) استفاده شده است.

۲-۴-۱- الگوریتم یادگیری عاطفی مغز

الگوریتم یادگیری عاطفی مغز برای اولین بار توسط مورن در سال ۲۰۰۲ جهت مدل‌سازی یادگیری هیجانی عاطفی مغز مطرح شد. در واقع الگوریتم یادگیری عاطفی مغز، الگویی برگرفته از عملکرد عاطفی مغز در زمان یادگیری است که علاوه بر پردازش داده‌های ورودی گرفته شده از حواس پنج‌گانه، از منبع اطلاعاتی با عنوان تجربیات نیز بهره می‌گیرد. قسمت تحلیلی مغز از دو قسمت به نام آمیگدالا و اوربیتوفرونتال تشکیل شده است. این دو بخش در واقع بخش پیش برنده و باز دارنده هستند [۲۸]. بخش پیش برنده (آمیگدالا) تحلیل مثبت برای جلوگیری از محاسبه پاداش را انجام می‌دهد و بخش باز دارنده (اوربیتوفرونتال) نیز جنبه منفی را بررسی می‌کند. نتایج هر دو بخش جداگانه محاسبه می‌شود و سپس با توجه به جزا و پاداش به بخش کنترل تصمیمی رفته تا نتایج کلی به‌دست آید [۲۹]. شبکه پیشنهادی مورن برای یادگیری عاطفی مغز در شکل (۴) نمایش داده شده است. بخشی از روابط مورد استفاده در الگوریتم یادگیری عاطفی مغز در ادامه آورده شده‌اند:

$$A_i = S_i * V_i \quad (1)$$

$$Q_i = S_i * W_i \quad (2)$$

$$E = \sum_i A_i - \sum_j O_j \quad (3)$$

$$\Delta V_i = \alpha(S_i * \text{Max}(0, R - \sum_i A_i)) \quad (4)$$

$$\Delta W_i = \beta(S_i * (E - R)) \quad (5)$$

$$R = \begin{cases} [\sum A_i - \text{REW}]^+ - \sum O_i & \text{IF REW} \neq 0 \\ [\sum A_i - \sum O_i]^+ & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

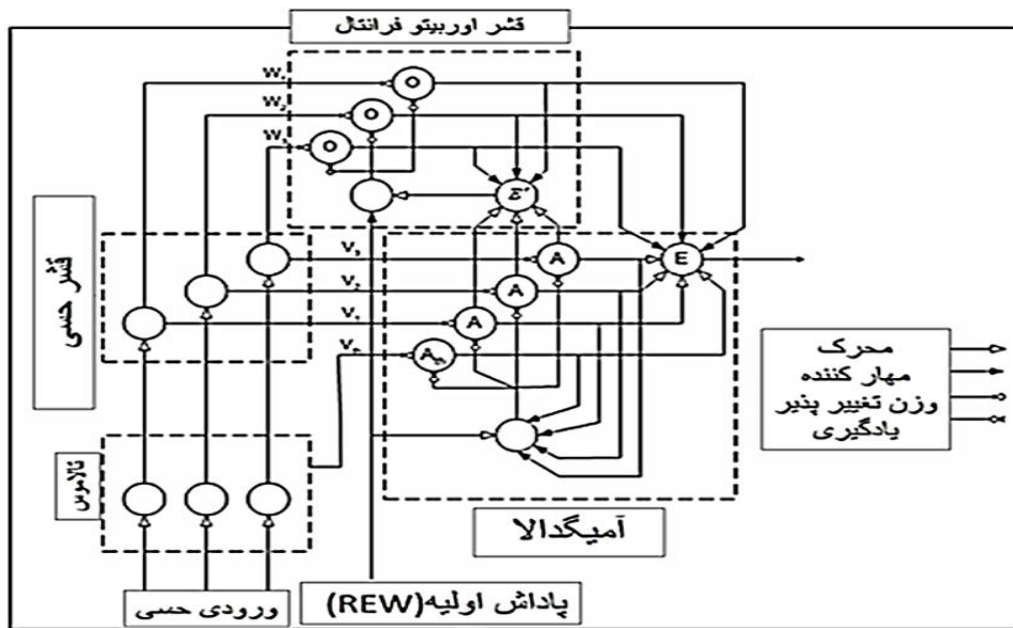
در معادلات بالا S سیگنال ورودی و V و W برابر وزن ورودی‌های آمیگدالا و اوربیتوفرونتال و E خروجی کنترلی عاطفی نهایی است [۳۰]. در مرحله آموزش، وزن‌های اولیه به‌طور تصادفی مقداردهی اولیه شدند و نمونه‌های آموزشی یا ویژگی‌ها عکس‌ها وارد شدند. برای هر نمونه آموزشی خروجی آمیگدالا و اوربیتوفرونتال محاسبه شده و خروجی نهایی با توجه به رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

سپس تطبیق وزن‌ها بر اساس رابطه (۵) انجام می‌گردد. شکل (۵) شبه کد مربوط به مراحل پیاده‌سازی الگوریتم یادگیری عاطفی مغز را نشان می‌دهد. در مقاله مورن، سیگنال REW به‌طور دقیق فرموله نشده است. در توسعه‌های بعدی، بابایی و همکاران [۳۱] و عبدی و همکاران [۳۲]، برای پیش‌بینی، رابطه زیر را تعریف و استفاده کردند.

$$\text{REW} = \sum_j w_j r_j \quad (7)$$

پروفسور کارل لوکاس، سیگنال REW را به‌صورت ورودی سیستم تعریف کرد که مدل مورن برای کاربردهای کنترلی قابل استفاده گردد و یک کنترلر هوشمند بر اساس آن ارائه کرد و آن را کنترلر هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی مغز^۹ (BELBIC) نامید [۳۳].

از کاربردهای دیگر الگوریتم یادگیری عاطفی مغز، یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو (BELPR) است. در این روش که همانا کنترلر هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی مغز است، به‌جای سیگنال REW سیگنال هدف قرار داده شده است [۳۴]. نتایج حاصل از کاربرد این الگوریتم برای تشخیص آلزایمر در جدول (۳) آورده شده است.



شکل (۴): شبکه پیشنهادی مورن برای یادگیری عاطفی مغز [۳۰]
Figure (4): Moren's proposed network for emotional learning [30]

Algorithm 1: Brain Emotional Learning (BEL)

1. **Input:** Matrix $s_{c \times n}$ including c patterns with n features, MaxIt (the number of iteration).
2. **Output:** Adjusted v -weights, w -weights.
3. **Begin**
4. Initialize v -weights, w -weights randomly.
5. Initialize α, β .
6. **While** $t < \text{MaxIt}$
7. **Begin**
8. Initialize EA, EO.
9. **For** $i=1:C$
10. **Begin**
11. Take i th pattern.
12. $A_{th} = \max_j (s_i(j))$.
13. **For** $j=1:n$
14. **Begin**
15. $A_i(j) = s_i(j) * v_i(j)$.
16. $A_i(n+1) = A_{th} * V_i(n+1)$.
17. $EA = EA + A_i(j)$.
18. $O_i(j) = S_i(j) * w_i(j)$.
19. $EO = EO + O_i(j)$.
20. $E = EA - EO$.
21. calculate R by Eq. (6).
22. $\Delta v_i = \alpha * (s_i(j) * \max(0, R - EA))$.
23. $\Delta w_i = \beta * (s_i(j) * (E - R))$.
24. update $v_i(j)$.
25. update $w_i(j)$.
26. **end for**
27. **end for**
28. **end while**
29. **Return** v -weights, w -weights.
30. **end**

شکل (۵): شبه کد یادگیری عاطفی مغز
Figure (5): The pseudo code of brain emotional learning

۲-۴-۲- اعتبارسنجی

در این مرحله برای طبقه‌بندی یا تشخیص بیماری، داده‌ها (ویژگی‌های استخراج شده عکس‌ها) به دو روش زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- دسته‌بندی داده‌ها به روش ۷۰:۳۰-۷۰:۳۰ درصد داده‌ها به‌طور تصادفی جهت آموزش و ۳۰ درصد باقیمانده جهت تست در نظر گرفته شده است.

۲- اعتبارسنجی توسط روش K-FOLD: در این شیوه مجموعه‌ی داده‌ها به K قسمت مساوی تقسیم می‌شود. هر بار یک قسمت برای اعتبارسنجی و مابقی به‌عنوان مجموعه‌ی آموزشی به‌کار می‌رود. این روال K بار تکرار می‌شود و همه داده‌ها دقیقاً یک‌بار برای آموزش و یک‌بار برای اعتبارسنجی به‌کار می‌روند. در نهایت نتیجه این K بار اعتبارسنجی به‌عنوان یک تخمین نهایی برگزیده می‌شود. به‌طور معمول از روش اعتبارسنجی پنج لایه یا ده لایه در پژوهش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی استفاده می‌گردد. در این پژوهش k برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است.

۳- ارزیابی و مقایسه

در این بخش از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز برای تشخیص بیماری آلزایمر استفاده شده است.

۳-۱- ارزیابی تشخیص بیماری آلزایمر با استفاده از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز

الگوریتم یادگیری عاطفی مغز جهت تشخیص بیماری آلزایمر به دو بخش تقسیم می‌گردد بخش آموزش و بخش تست. ابتدا آموزش آمیگدالا و اوربیتوفران‌تال توسط داده‌های آموزش انجام پذیرفت، سپس با استفاده از داده‌های تست، نتایج تشخیص بیماری به‌دست آمدند. نتایج به‌دست آمده از پیاده‌سازی‌ها در حالتی که استخراج ویژگی توسط دو روش الگوریتم تبدیل موجک و روش آماری انجام شده، کاهش بعد توسط آنالیز مؤلفه اصلی و روش 10-FOLD استفاده شده‌اند در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از پیاده‌سازی‌ها در حالتی که استخراج ویژگی توسط دو روش الگوریتم تبدیل موجک و روش آماری انجام شده، کاهش بعد توسط آنالیز مؤلفه اصلی و برای تقسیم‌بندی داده‌های آموزش و تست از روش ۷۰-۳۰ استفاده شده در جدول (۴) نشان داده شده است. جدول‌های (۳) و (۴) نتایج به‌دست آمده از استفاده الگوریتم تبدیل موجک و یا روش آماری را نشان داده‌اند. همچنین اجرای الگوریتم یادگیری عاطفی مغز در حالتی که آنالیز مؤلفه اصلی انجام نشده باشد با صحت ۴۲ درصد نشان داد که کاهش بعد توسط آنالیز مؤلفه اصلی با حذف ویژگی‌های اضافی باعث بهبود نتیجه شده است.

۳-۲- مقایسه

همان‌طور که ملاحظه شد در این تحقیق ابتدا پیش‌پردازش بر روی داده‌ها انجام گرفت. سپس استخراج ویژگی و کاهش بعد انجام شد و در نهایت طبقه‌بندی با استفاده از سه روش ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و نیز الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو انجام گردید. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو با صحت ۹۷ درصد بهتر از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با صحت ۹۵ درصد عمل کرده است.

Table (3): Distribution of Alzheimer's disease diagnosis results with 10-fold for evaluate indexes under feature extraction method
جدول (۳): توزیع نتایج تشخیص بیماری آلزایمر با 10-fold برحسب شاخص‌های ارزیابی به تفکیک روش استخراج ویژگی

	مجموعه داده	روش استخراج ویژگی	صحت (Accuracy) (%)	حساسیت (Sensitivity) (%)	خاص بودن (Specificity) (%)	فراخوانی (Recall)	ناحیه‌ی زیر منحنی (AUC)	زمان اجرا (ثانیه)
HC vs AD	ADNI	تبدیل موجک	۹۵	۱۰۰	۹۱/۶۷	۱۰۰	۰/۹۶	۰/۲۲
HC vs AD	ADNI	آماری	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۸۰	۰/۹۴	۰/۵۴

Table (4): Distribution of Alzheimer's disease diagnosis results for evaluate indexes under feature extraction method
جدول (۴): توزیع نتایج تشخیص بیماری آلزایمر بر حسب شاخص‌های ارزیابی به تفکیک روش استخراج ویژگی

زمان اجرا (ثانیه)	ناحیه‌ی زیر منحنی (AUC)	فراخوانی (Recall) (%)	خاص بودن (Specificity) (%)	حساسیت (sensitivity) (%)	صحت (Accuracy) (%)	روش استخراج ویژگی	مجموعه داده
۰/۱۸	۰/۹۴	۹۱	۱۰۰	۹۱/۳۰	۸۹	تبدیل موجک	ADNI HC vs AD
۰/۲۰	۰/۷۶	۷۰	۱۰۰	۷۱	۸۳/۰۵	آماری	ADNI HC vs AD

همچنین الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با صحت ۹۵ درصد بهتر از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با صحت ۸۳ درصد عمل نموده است. نتایج حاصل در جدول (۵) نمایش داده شده‌اند.

۳-۳- تجزیه و تحلیل آماری

در این بخش کارایی الگوریتم یادگیری عاطفی مغز، الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو و ماشین بردار پشتیبان با استفاده از تست آماری فریدمن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از آزمون آماری فریدمن در جدول (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که در جدول نمایان است الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو در رتبه بالاتر نسبت به الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز رتبه بالاتری را نسبت به ماشین بردار پشتیبان دارا است.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق برای تشخیص بیماری آلزایمر از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو استفاده شده است. به این منظور از دو پارامتر ماده سفید و خاکستری جهت تشخیص بیماری استفاده شد که به خوبی تغییرات ناشی از بیماری آلزایمر بر روی مغز را نشان می‌دهد و باعث می‌شود تشخیص بیماری با این پارامترها دقیق‌تر انجام شود. ابتدا الگوریتم تبدیل موجک ویژگی‌های تصاویر را در سه لایه استخراج می‌کند، بنابراین تعداد ویژگی‌های بیشتری به دست آمده است که باعث تشخیص بهتر خواهد شد. سپس با اعمال آنالیز مؤلفه اصلی، آن دسته از ویژگی‌هایی که جهت تشخیص مناسب‌تر هستند به دست آمدند و در نهایت، طبقه‌بندی توسط الگوریتم یادگیری عاطفی مغز و الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو انجام پذیرفت. طبق محاسبات انجام شده الگوریتم یادگیری عاطفی مغز مبتنی بر تشخیص الگو با صحت ۹۷ درصد بهتر از الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با صحت ۹۵ درصد عمل کرده است. همچنین الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با صحت ۹۵ درصد بهتر از ماشین بردار پشتیبان با صحت ۸۳ درصد عمل نموده است. همچنین الگوریتم یادگیری عاطفی مغز در زمان ۰/۲۲ ثانیه انجام شده است.

Table (5): Comparison of Alzheimer's disease diagnosis results for accuracy under using method
جدول (۵): مقایسه نتایج تشخیص بیماری آلزایمر بر حسب صحت به تفکیک روش مورد استفاده

ردیف	روش	صحت
۱	BELPR	۹۷
۲	BEL	۹۵
۳	SVM	۸۳

Table (6): Comparison of the algorithm's performance according to Friedman test ranking

جدول (۶): مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها بر حسب رتبه‌بندی آزمون فریدمن

ردیف	الگوریتم	میانگین رتبه
۱	BELPR	۱/۳
۲	BEL	۱/۲
۳	SVM	۲/۶

الگوریتم یادگیری عاطفی مغز دارای محاسبات ساده و سرعت تشخیص بالا است و می‌تواند برای تشخیص بیماری‌های مختلف کاربرد خوبی داشته باشد. جهت تشخیص سریع‌تر و دقیق‌تر بیماری‌های آلزایمر پیشنهاد می‌شود در آینده الگوریتم یادگیری عاطفی مغز با الگوریتم‌های فرا ابتکاری توسعه داده شود.

References

مراجع

- [1] E. Pellegrini, L. Ballerini, M.D.C.V. Hernandez, F.M. Chappell, V. González-Castro, D. Anblagan, S. Danso, S. Muñoz-Maniega, D. Job, C. Pernet, G. Mair, T.J. MacGillivray, E. Trucco, J.M. Wardlaw, "Machine learning of neuroimaging for assisted diagnosis of cognitive impairment and dementia: A systematic review", *Alzheimer's and Dementia: Diagnosis, Assessment and Disease Monitoring*, vol. 10, pp. 519-535, 2018 (doi: 10.1016/j.dadm.2018.07.004).
- [2] O.B. Ahmed, J. Benois-Pineau, M. Allard, C.B. Amar, G. Catheline, "Classification of Alzheimer's disease subjects from MRI using hippocampal visual features", *Multimedia Tools and Applications*, vol. 74, no. 4, pp. 1249-1266, 2015 (doi: 10.1007/s11042-014-2123-y).
- [3] I. Beheshti, H. Demirel, "Feature-ranking-based Alzheimer's disease classification from structural MRI", *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 34, no. 3, pp. 252-263, April 2016 (doi: 10.1016/j.mri.2015.11.009).
- [4] M. Plochanski, L.R. Stergaard, "Extraction of sulcal medial surface and classification of Alzheimer's disease using sulcal features", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 133, no. C, pp. 35-44, Sept. 2016 (doi: 10.1016/j.cmpb.2016.05.009).
- [5] H. Matsuda, "MRI morphometry in Alzheimer's disease", *Ageing Research Reviews*, vol. 30, pp. 17-24, Sept. 2016 (doi: 10.1016/j.arr.2016.01.003).
- [6] A. Gholipour, C. Lucas, D. Shahmirzadi, "Predicting geomagnetic activity index by brain emotional learning", *WSEAS Transactions on Systems*, vol. 3, pp. 296-299, 2004.
- [7] S.H. Wang, Y.D. Zhang, Z. Dong, P. Phillips, "Multi-scale and multi-resolution features for structural magnetic resonance imaging", *Pathological Brain Detection. Brain Informatics and Health*. Springer, Singapore, pp. 71-84, 2018 (doi: 10.1007/978-981-10-4026-9_5).
- [8] C.R. Gonzalez, E.R. Woods, "Digital Image Processing", 3rd Edition, Prentice Hall, 2007.
- [9] M. Seif El-Nasr, M. Skubic, "A fuzzy emotional agent for decision-making in a mobile robot", *Proceeding of the IEEE/FUZZY*, vol. 1, pp. 135-140, Anchorage, AK, USA, May 1998 (doi:10.1109/fuzzy.1998.687472).
- [10] C. Chung, C.M. Lin, "Brain emotional learning control system design for nonlinear systems", *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, vol. 1, no. 2, Nov. 2014.
- [11] M. Parsapoor, U. Bilstrup, B. Svensson "A brain emotional learning-based prediction model for the prediction of geomagnetic Storms", *Proceeding of the IEEE/CSIS*, pp. 35-42, Warsaw, Poland, Sept. 2014 (doi: 10.1543-9/2014F231).
- [12] Y. Sharafi, S. Setayeshi, A. Falahiazar, "An improved model of brain emotional learning algorithm based on interval knowledge", *Journal of Mathematics and Computer Science*, vol. 14, no. 1, pp. 42-53, 2015 (doi: 10.22436/jmcs.014.01.05).
- [13] S. Motamed, S. Setayeshi, A. Rabiee, "Speech emotion recognition based on a modified brain emotional learning model", *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, vol. 19, pp. 32-38, Jan. 2017 (doi: 10.1016/j.bica.2016.12.002).
- [14] H. Waheb, M. Rahmati, "Comparison between group of patients with gray matter density voxel in MRI images of Healthy individuals and Alzheimer's patients", *Proceeding of the MVIPC, Mashhad, Iran, 2007* (doi: ICMVIP04_072) (in Persian).
- [15] G. Fung, J. Stoeckel, "SVM feature selection for classification of SPECT images of Alzheimer's disease using spatial information", *Knowledge and Information Systems*, vol. 11, no. 2, pp. 243-258, Sept. 2007 (doi: 10.1007/s10115-006-0043-5).
- [16] J. Dukart, K. Mueller, H. Barthel, A. Villringer, O. Sabri, M. L. Schroeter, "Meta-analysis based SVM classification enables accurate detection of Alzheimer's disease across different clinical centers using FDG-PET and MRI", *Psychiatry Research: Neuroimaging*, vol. 212, no. 3, pp. 230-236, June 2013 (doi: 10.1016/j.psychresns.2012.04.007).
- [17] X. Liu, D. Tosun, M.W. Weiner, N. Schuff, "Locally linear embedding (LLE) for MRI based Alzheimer's disease classification", *NeuroImage*, vol. 83, pp. 148-157, June 2013 (doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.06.033).
- [18] S. Liu, S. Liu, W. Cai, S. Pujol, R. Kikinis, D. Feng, "Early diagnosis of Alzheimer's disease with deep learning", *Proceeding of the IEEE/ISBI*, pp. 1015-1018, Beijing, China, May 2014 (doi: 10.1109/isbi.2014.6868045).

- [19] I. Beheshti, H. Demirel, "Probability distribution function-based classification of structural MRI for the detection of Alzheimer's disease", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 64, pp. 208-216, Sept. 2015 (doi: 10.1016/j.combiomed.2015.07.006).
- [20] I. Beheshti, H. Demirel, "Feature-ranking-based Alzheimer's disease classification from structural MRI", *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 34, no. 3, pp. 252-263, April 2016 (doi: 10.1016/j.mri.2015.11.009).
- [21] I. Beheshti, H. Demirel, F. Farokhian, C. Yang, H. Matsuda, "Structural MRI-based detection of Alzheimer's disease using feature ranking and classification error", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 137, pp. 177-193, Dec. 2016 (doi: 10.1016/j.cmpb.2016.09.019).
- [22] L. Sørensen, C. Igel, A. Pai, I. Balas, C. Anker, M. Lillholm, M. Nielsen, "Differential diagnosis of mild cognitive impairment and Alzheimer's disease using structural MRI cortical thickness, hippocampal shape, hippocampal texture, and volumetry", *NeuroImage: Clinical*, vol. 13, pp. 470-482, 2017 (doi: 10.1016/j.nic-1.2016.11.025).
- [23] F. Zhang, S. Tian, S. Chen, Y. Ma, X. Li, G. Guo, "Voxel-based morphometry: Improving the diagnosis of Alzheimer's disease based on an extreme learning machine method from the ADNI cohort", *Neuroscience*, vol. 414, pp. 273-279, Aug. 2019 (doi: 10.1016/j.neuroscience.2019.05.014).
- [24] I. Beheshti, H. Demirel, H. Matsuda, "Classification of Alzheimer's disease and prediction of mild cognitive impairment-to-Alzheimer's conversion from structural magnetic resource imaging using feature ranking and a genetic algorithm", *Computers in Biology and Medicine*, vol. 83, pp. 109-119, April 2017 (doi: 10.1016/j.combiomed.2017.02.011).
- [25] M. Eman, A. Seddik, H. Mohamed, "Automatic detection and classification of Alzheimer's disease from MRI using TANNN", *International Journal of Computer Applications*, vol. 148, pp. 30-34, 2016 (doi: 10.512-0/IJCA2016911320).
- [26] A.R. Gad, N.M.H. Hassan, R.A.A. Seoud, T.M. Nassef, "Automatic machine learning classification of Alzheimer's disease based on selected slices from 3d magnetic resonance imaging", *International Journal of Biomedical Science and Engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 50-54, Feb. 2017 (doi: 10.11648/j.ijbse.20160406.110).
- [27] A. Mohammed Taqi, F. Al-Azzo, M. Milanova, "Classification of Alzheimer disease based on normalized Hu moment Invariants and multiclassifier", *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 11, 2017 (doi: 10.14569/IJACSA.2017.0811020).
- [28] M. Maleki, N. Nourafza, S. Setayeshi, "A novel approach for designing a cognitive sugarscape cellular society using an extended moren network", *Intelligent Automation and Soft Computing*, vol. 22, no. 2, pp. 193-201, Nov. 2016 (doi: 10.1080/10798587.2015.1090720).
- [29] M. Parsapoor, "An introduction to brain emotional learning inspired models (BELiMs) with an example of BELiMs' applications", *Artificial Intelligence Review*, vol. 52, no. 1, pp. 409-439, June 2019 (doi: 10.1007/s10462-018-9638-y).
- [30] C. Balkenius, J. Moren, "Emotional learning: A computational model of amygdala", *Cybernetics and Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 611-636, 2001 (doi: 10.1080/01969720118947).
- [31] T. Babaie, R. Karimizandi, C. Lucas, "Learning based brain emotional intelligence as a new aspect for development of an alarm system", *Soft Computing*, vol. 12, no. 9, pp. 857-873, July 2008 (doi: 10.1007/s0-0500-007-0258-8).
- [32] J. Abdi, B. Moshiri, B. Abdulhai, A.K. Sedigh, "Forecasting of short-term traffic-flow based on improved neurofuzzy models via emotional temporal difference learning algorithm", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 25, no. 5, pp. 1022-1042, Aug. 2012 (doi: 10.1016/j.engappai.2011.09.011).
- [33] C. Lucas, D. Shahmirzadi, N. Sheikholeslami, "Ntroducing Belbic: Brain emotional learning based intelligent controller", *Intelligent Automation and Soft Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 11-21, 2004 (doi: 10.1080/1079-8587.2004.10642862).
- [34] E. Lotfi, M.R. Akbarzadeh, "Practical emotional neural networks", *Neural Networks*, vol. 59, pp. 61-72, Nov. 2014 (doi: 10.1016/j.neunet.2014.06.012).

1. Alzheimer's disease (AD)
2. Alzheimer's disease neuroimaging initiative (ADNI)
3. Open access series of imaging studies (OASIS)
4. Brain emotional learning (BEL)
5. Clinical dementia rating (CDR)
6. Healthy control (HC)
7. Principal component analysis (PCA)
8. Brain emotional learning pattern recognizer (BELPR)
9. Brain emotional learning based intelligent controller (BELBIC)