

Accurate and Early Diagnosis of Children at Risk for Dyslexia: Comparison of Two Intelligent Systems Designed by Artificial Neural Network

Mona Delavarian^{*1}, Gholamali Afrooz²

1. Department of Psychology and Education, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Department of Psychology and Education, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2016.September.20 Revised: 2016. February.21 Accepted: 2017.March.04

Abstract

Background and Aim: The aim of the present study was early and accurate diagnosis of preschoolers at risk for dyslexia through designing an intelligent diagnostic system.

Materials and Methods: The current research was a “research and development” type of investigation, in terms of its goal, and a descriptive research, assessment, and diagnostic type study, in terms of data collection method. The Neuro-cognitive program designed by Delavarian et al. was used for evaluation of the children. The efficacy, accuracy, validity, and reliability of this program were proven in many previous studies. Participants were selected following cluster random sampling method and their neuro-cognitive functions were saved for two years until the definite diagnosis of each individual was determined and then the data was applied in designing the diagnostic system. Multilayer perceptron and radial basis function artificial neural networks were applied in designing the system and they were compared according to their accuracy and sensitivity.

Results: The average accuracy of the system in early diagnosis of preschoolers at risk for dyslexia, designed by multilayer perceptron neural network, reached to 94.40% and the network’s sensitivity and specificity were obtained to be 90.27 and 95.28%, respectively.

Conclusion: According to the high validity and reliability of the neuro-cognitive program and the high accuracy and sensitivity of the designed decision support system, the mentioned system could be used in early detection of at risk preschoolers, prior to entering the elementary school

Keywords: Intelligent Diagnostic System; Multi-layer Perceptron Artificial Neural Network; Radial Basis Function Artificial Neural Network; Children at Risk for Dyslexia; Neuro-Cognitive Program

Cite this article as: Mona Delavarian, Gholamali Afrooz. Accurate and Early Diagnosis of Children at Risk for Dyslexia: Comparison of Two Intelligent Systems Designed by Artificial Neural Network. J Rehab Med. 2018; 7(1): 1-9.

* **Corresponding Author:** Mona Delavarian. Department of Psychology and Education, University of Tehran, Tehran, Iran
Email: delavarian@ut.ac.ir, mona.delavarian@gmail.com

DOI: 10.22037/jrm.2018.110644.1428

تشخیص دقیق و زودهنگام کودکان پیش دبستانی مستعد نارساخوانی (دیسلکسیا): مقایسه دو سیستم هوشمند طراحی شده با شبکه عصبی مصنوعی

مونا دلوریان^{۱*}، غلامعلی افروز^۲

۱. محقق فوق دکترا، دکترای روان‌شناسی کودکان استثنایی، دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استاد ممتاز، دانشکده روان‌شناسی و علوم تربیتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* دریافت مقاله ۱۳۹۵/۰۶/۳۰ بازنگری مقاله ۱۳۹۵/۱۲/۰۳ پذیرش مقاله ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ *

چکیده

مقدمه و اهداف

هدف از پژوهش حاضر شناسایی دقیق و زودهنگام کودکان پیش‌دبستانی مستعد دیسلکسیا از طریق طراحی سیستم هوشمند کمک تشخیصی بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر هدف از نوع مطالعات تحقیق و توسعه‌ای و از نظر شیوه جمع‌آوری داده، توصیفی، پیمایشی از نوع ارزیابی و تشخیصی بود. ابزاری که جهت ارزیابی و استخراج اطلاعات در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت برنامه عصبی-شناختی طراحی شده توسط دلوریان و همکاران بود که کارایی، دقت، روایی و اعتبار آن در بسیاری از مطالعات پیشین اذعان و به اثبات رسیده است. نمونه‌ها به روش تصادفی چند مرحله‌ای خوشه‌ای انتخاب شدند و عملکرد هر یک از آنها به مدت دو سال، تا زمان تشخیص قطعی، در فایل‌های اکسل جداگانه ذخیره شد و پس از دو سال جهت طراحی سامانه حمایتگر تصمیم‌بالینی مورد استفاده قرار گرفت. دو نوع شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون و تابع پایه شعاعی در طراحی سامانه، استفاده و از نظر دقت و حساسیت مقایسه شدند.

یافته‌ها

میانگین دقت سامانه‌های طراحی شده توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون، ۹۴/۴۰٪ و حساسیت و اختصاصی بودن شبکه در تشخیص کودکان پیش‌دبستانی مستعد دیسلکسیا به ترتیب، ۹۰/۲۷٪ و ۹۵/۲۸٪ حاصل گردید.

نتیجه‌گیری

با توجه به اعتبار و روایی بالای برنامه عصبی-شناختی و دقت و حساسیت بالای سامانه حمایتگر تصمیم‌بالینی طراحی شده، می‌توان با اطمینان بالا از این سامانه هوشمند جهت تشخیص زودهنگام کودکان مستعد دیسلکسیا، پیش از ورود به دبستان استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی

سیستم هوشمند تشخیصی؛ شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون؛ شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی؛ نارساخوانی؛ برنامه عصبی-شناختی

نویسنده مسئول: مونا دلوریان، بزرگراه جلال آل‌احمد، کوی نصر (گیشا)، دانشگاه تهران، دانشکده روان‌شناسی
آدرس الکترونیکی: delavarian@ut.ac.ir, mona.delavarian@gmail.com

مقدمه و اهداف

در جهان متمدن امروزی فردی که قادر به خواندن ماهرانه نباشد، با مشکلات زیادی از جمله مشکلات عاطفی-روان‌شناختی روبرو خواهد شد؛ لذا در بسیاری از جوامع سرمایه‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های گسترده‌ای جهت رشد این مهارت صورت می‌گیرد.^[۱] فرآیند خواندن تنها به معنای تشخیص کلمه نیست بلکه راهی برای ایجاد ارتباط و کسب اطلاعات بیشتر است و با سلامت روان، تعاملات ارتباطی و سازش‌یافتگی اجتماعی رابطه دارد.^[۲] از میان انواع اختلالات یادگیری خاص، بحث خواندن و اختلال در آن توجه بسیاری را به خود جلب کرده است، زیرا طی سالیان گذشته پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اکثر دانش‌آموزان با ناتوانی یادگیری خاص دارای مشکلاتی در زمینه خواندن می‌باشند.^[۳]

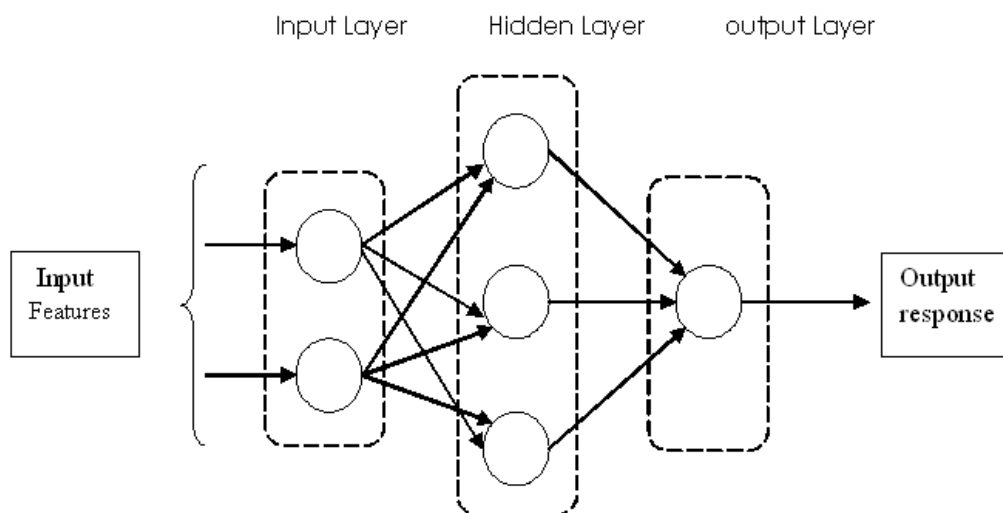
به دلیل اهمیت خواندن، در دهه‌های اخیر علاقه زیادی به مطالعه و بررسی زمینه‌های خواندن از جمله تعریف و طبقه‌بندی، فرآیندهای شناختی، عوامل زیست‌شناختی (مانند مغز و ژنتیک)، فرآیند ارزیابی و راهبردهای مداخله‌ای صورت گرفته است. یکی از اهداف مهم در هر نظام آموزش و پرورش، شناسایی زودهنگام با تکیه بر راهکارهای مختلف و ارجاع برای تشخیص دقیق، علت ناتوانی در خواندن و بکارگیری راهکارهای مناسب آموزشی برای این کودکان است.^[۴]

کودکانی که به هنگام یادگیری خواندن با مشکلات زیادی مواجه هستند یا به اصطلاح نارساخوان هستند، از دیرباز تاکنون توجه متخصصان و صاحب‌نظران را به خود معطوف کرده‌اند. نارساخوانی، ناتوانی در یادگیری خواندن به علت آسیب عصبی-شناختی است.^[۴] در گسترده‌ترین معنا، نارساخوانی به ناتوانی در یادگیری خواندن به‌رغم هوش بهنجار و فراهم بودن محیط آموزشی مناسب در خانه و مدرسه باز می‌گردد. سطح خواندن در کودکان مبتلا به نارساخوانی، اغلب بسیار پایین‌تر از سطحی است که از توانایی شناختی آنها انتظار می‌رود.^[۵] سطح پایین خواندن در کودک نارساخوان منتج به شکست‌های متعدد وی گشته و عواقب بسیار دارد. این خود گویای اهمیت تشخیص زودهنگام، نه تنها برای این اختلال بلکه برای تمامی اختلالات روان‌شناختی می‌باشد. چنانچه مشکلات تلفظ، خواندن و مجموعه‌ای از مشکلات شناختی در کودکان نارساخوان تحت مداخله مناسب و زودهنگام قرار نگیرد تا بزرگسالی ادامه خواهند یافت.^[۶] به طور کلی برای تشخیص اختلالات روان‌شناختی از ابزارها و روش‌های مختلف و متعددی استفاده می‌گردد و به دلیل اهمیت زیاد فرآیند تشخیص، محققین همواره در پی یافتن راهکارهای به روزتر و دقیق‌تر، در جبران نقص روش‌های سنتی، می‌باشند.^[۶] امروزه یک دسته از ابزارها و روش‌های کمک تشخیصی برای اختلالات روان‌پزشکی سیستم‌های هوشمند یا Expert Systems هستند که بسیار مورد استقبال و استفاده قرار گرفته‌اند. این سیستم‌ها، نرم‌افزارهای کمک تشخیصی و درمانی می‌باشد که در لحظه تصمیم‌گیری به متخصص یاری می‌رساند.^[۷]

در مجموع تعداد مطالعات در زمینه تشخیص و طبقه‌بندی اختلالات روان‌شناختی توسط سیستم‌های هوشمند، اندک اما دقت سیستم‌های طراحی شده بالا می‌باشد؛ برای مثال در سال ۲۰۱۱، در پژوهشی توسط دلاوریان و همکاران، تشخیص و طبقه‌بندی برخی اختلالات عاطفی-رفتاری کودکان، از جمله اختلالات نقص توجه-بیش‌فعالی، اضطراب، افسردگی، اضطراب و افسردگی همزمان، اختلال سلوک، توسط سیستم هوشمند حمایتگر تصمیم‌بالیبی صورت گرفت و میانگین دقت تشخیص به بالاتر از ۹۰٪ رسید.^[۸] در مطالعه دیگر توسط همین گروه، با استفاده از سیستم هوشمند دیگری میانگین دقت تشخیص همین مجموعه از اختلالات عاطفی-رفتاری به ۹۶/۹۲٪ افزایش یافت.^[۹]

جهت طراحی سیستم‌های هوشمند، روش‌ها و الگوریتم‌های متفاوتی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها که در بسیاری از سیستم‌های هوشمند جهت تشخیص‌های روان‌شناختی به کار رفته است، روش شبکه عصبی مصنوعی یا Artificial Neural Network (ANN) می‌باشد.^[۱۰] در اثبات این گفته می‌توان به یافته Zou و همکارانش اشاره نمود که اذعان نمودند شبکه عصبی مصنوعی یک طبقه‌بندی-کننده قدرتمند جهت طراحی سیستم هوشمند در تشخیص‌های روان‌پزشکی می‌باشد.^[۱۱]

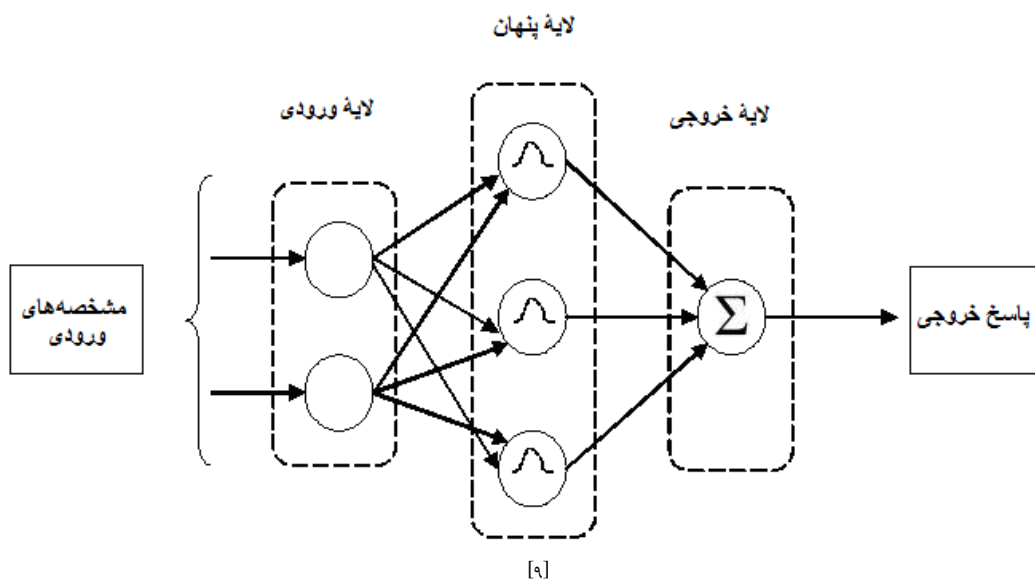
یکی از انواع شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی پرسپترون می‌باشد که در ساده‌ترین حالت دارای یک لایه ورودی و حداقل یک لایه پنهان و در نهایت یک لایه خروجی می‌باشد (تصویر ۱). تعداد نورون‌های لایه ورودی معمولاً به تعداد مشخصه‌ها و تعداد نورون‌های لایه خروجی به تعداد طبقات بستگی دارد. داده‌های موجود به طور مکرر و تصادفی برای آموزش شبکه استفاده می‌شود تا میزان خطا کاهش یابد. هدف این است که شبکه‌ای با حداقل خطا برای طبقه‌بندی صحیح طراحی شود.^[۹]



تصویر ۱: شبکه عصبی چند لایه با یک لایه پنهان^[۹]

شبکه عصبی تابع پایه شعاعی یا RBF یکی دیگر از انواع شبکه عصبی مصنوعی است و شامل سه لایه می‌باشد، یک لایه ورودی، یک لایه پنهان، و یک لایه خروجی (تصویر ۲). بر اساس داده‌های مورد استفاده برای تعلیم شبکه جهت کسب حداکثر دقت سیستم، در شبکه عصبی تابع پایه شعاعی، پارامتر گستردگی یا Spread شبکه عصبی می‌بایست محاسبه گردد که در ارتباط با وسعت نورون‌های شبکه می‌باشد.^[۱۱]

دایره‌ها در تصویر ۱ و ۲ نشان‌دهنده نورون‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. اطلاعات از نورون‌های لایه ورودی به تک تک نورون‌های لایه میانی منتقل شده و در آنجا مورد پردازش قرار می‌گیرد، سپس اطلاعات به لایه خروجی منتقل شده و تشخیص اختلال داده می‌شود.^[۱۱] پس از هر بار ارائه تصادفی داده به شبکه، وزن‌های ارتباطی تغییر و اصلاح‌یافته تا حداقل خطا صورت گرفته و حداکثر نتیجه کسب گردد.^[۱۲]



تصویر ۲: شبکه عصبی تابع پایه شعاعی

هدف تحقیق حاضر ایجاد یک طبقه‌بندی‌کننده قدرتمند شبکه عصبی مصنوعی جهت تشخیص دقیق و زود هنگام نارساخوانی در کودکان پیش دبستانی می‌باشد تا این شبکه بتواند با سرعت زیاد و دقت بالا در این امر مهم به متخصصان کمک نماید. در طراحی این سیستم توانایی‌های عصبی-شناختی کودکان با استفاده از برنامه قدرتمند طراحی شده توسط دلاوریان و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی و استخراج می‌گردد و جهت طراحی طبقه‌بندی‌کننده‌های شبکه عصبی مصنوعی به عنوان طبقه‌بندی‌کننده‌های بهینه به کار گرفته می‌شود. برای طراحی

طبقه‌بندی‌کننده با دقت بالا، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی و شبکه عصبی چندلایه پرسپترون مورد مقایسه قرار گرفت. سیستم بهینه سیستمی خواهد بود که دارای دقت و سرعت بالاتر بوده و در غربالگری کودکان با احتمال بالای ابتلا به نارساخونی بسیار موثرتر و کاراتر عمل نماید.

مواد و روش‌ها

پس از کسب مجوز برای نمونه‌گیری از دختران و پسران پیش‌دستانی مناطق نوزده‌گانه شهر تهران، برنامه عصبی-شناختی رایانه‌محور طراحی شده توسط دلاوریان و همکاران در سال ۱۳۹۴ توسط ۴۸۳ کودک که به واسطه نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای انتخاب شدند، اجرا و پیاده‌سازی گردید. برنامه عصبی-شناختی دلاوریان و همکاران، برنامه‌ای است که با توجه به تفاوت و نقص در مدارها و شبکه عصبی^[۱۳] و کارکردهای اجرایی^[۱۴] در افراد با دیسلکسیا و الهام از نظریه‌هایی چون نظریه پردازش اطلاعات، از نظریه‌های معتبر شناختی در توجیه و علت این اختلال طراحی شده است.

خروجی یا نتیجه کارکرد هر یک از نمونه‌ها با یک کد شناسایی در یک فایل اکسل ذخیره گردید. نمونه‌های مذکور به مدت دو سال پیگیری شد و در اواخر سال دوم دبستان پس از افت نمونه‌ها به دلایل متعدد، تعداد ۴۱۱ نمونه از نظر توانایی یادگیری و مشخصه‌های رفتاری، توسط پژوهشگران، آموزگاران، چند روان‌پزشک وابسته به مرکز سنجش و روان‌شناسی آموزش و پرورش و چند متخصص مستقل باتجربه در زمینه اختلالات یادگیری خاص مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند و تشخیص تمامی نمونه‌های مذکور، در انتهای سال دوم دبستان، مشخص گشت. با توجه به تشخیص نمونه‌ها، دیسلکسیا و بدون اختلال و داده‌های متعلق به هر یک از آنها در مقطع پیش‌دستان، طراحی سیستم‌های هوشمند توسط تعلیم و تست دو شبکه عصبی قدرتمند صورت گرفت.

جدول ۱: تعداد نمونه‌ها

جنسیت	تعداد (۴۸۳)	متوسط سن	انحراف معیار
دختر	۱۸۲	۶/۴	۱/۲
پسر	۳۰۱	۶/۲	۱/۳

جدول ۲: نمونه‌ها به تفکیک گروه

تعداد	گروه
۷۲	نارساخون
۳۳۹	بدون اختلال

طراحی و مدل طبقه‌بندی‌کننده

از انواع شبکه عصبی‌های مصنوعی موجود، شبکه عصبی چند لایه جلوسو یا MLP مورد استفاده قرار گرفت، چرا که استفاده از این شبکه در تشخیص‌های پزشکی بسیار رایج بوده چنانچه از آن به عنوان طبقه‌بندی‌کننده جهانی یاد می‌نمایند. طبقه‌بندی‌کننده طراحی شده یک شبکه عصبی پرسپترون جلوسو با سه لایه می‌باشد. لایه ورودی شامل ۲۲ نورون می‌باشد که برابر با تعداد مشخصه‌های استخراج شده از طریق منابع مختلف اطلاعاتی می‌باشد. لایه خروجی شامل سه نورون بوده که بیان‌کننده سه گروه از افراد با اختلالات بیش‌فعالی-نقص-توجه، اختلال رفتار مقابله‌ای و رفتار طبیعی می‌باشد. شبکه دارای یک لایه میانی می‌باشد. برای تعیین تعداد نورون‌های لایه میانی تعداد مختلف نورون‌ها مورد تحلیل قرار گرفت و میزان صحت طبقه‌بندی شبکه مورد محاسبه قرار گرفت. بهترین نتیجه از طریق ۱۴ نورون در لایه میانی کسب گردید.

فرآیند آموزش و آزمون طبقه‌بندی‌کننده

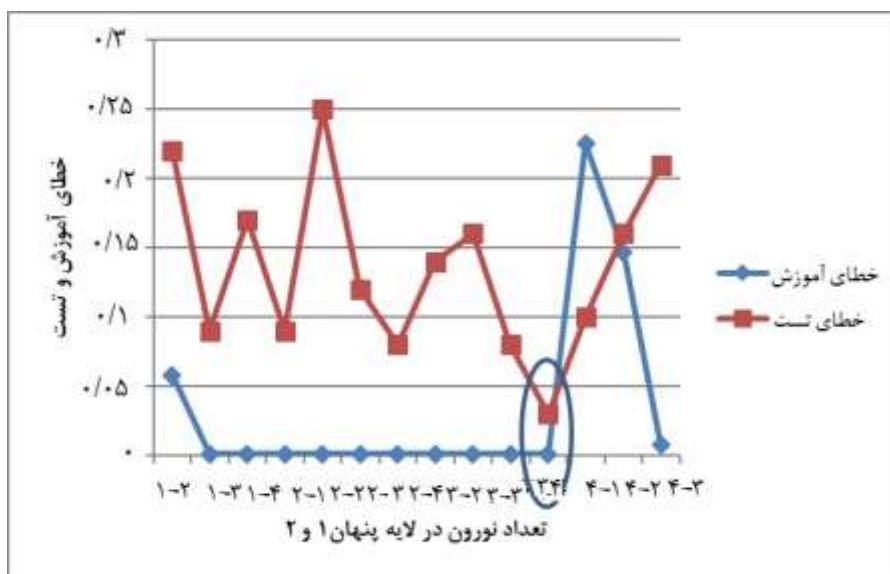
پس از دو سال در انتهای دوم دبستان، فایل‌های مربوط به کودکانی که تشخیص قطعی آنها مبتلا به دیسلکسیا و یا بدون اختلال مشخص گشته بود، جهت طراحی سامانه حمایتگر تصمیم‌بالینی مورد استفاده قرار گرفت؛ لذا داده‌های مربوط به ۴۱۱ نفر در فرآیند طراحی سامانه به کار گرفته شد. فرآیند تعلیم هر دو شبکه با ۷۰٪ داده‌های انتخاب شده به طور تصادفی، و آزمون شبکه‌ها با ۳۰٪ داده‌های تصادفی، در ۱۰۰ مرتبه صورت گرفت و خطای تشخیص در هر مرحله از آموزش و آزمون شبکه‌ها مشخص گشت.

با توجه به تعداد مولفه‌های حاصل از برنامه عصبی-شناختی طراحی شده جهت تشخیص کودکان مستعد دیسلکسیا، ۲۵ نورون برای لایه ورودی و با در نظر گرفتن دو گروه به عنوان خروجی سامانه، شامل کودکان مستعد دیسلکسیا و کودکان بدون اختلال، دو نورون در لایه خروجی برای هر دو نوع شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد. پس از اتمام مرحله تعلیم، آزمون شبکه‌ها انجام شد و به این ترتیب تعداد لایه و تعداد نورون‌های مناسب در هر یک از این لایه‌ها در شبکه عصبی چند لایه پرسپترون و میزان گستردگی نورون‌ها در شبکه عصبی تابع پایه شعاعی، جهت دستیابی به حداقل خطای تشخیصی توسط هر یک از شبکه‌ها، مشخص گشت.

پس از طراحی سیستم‌های هوشمند تشخیصی با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی، کارایی این سیستم‌ها به واسطه نرخ دقت تشخیص یا CCR، حساسیت یا Sensitivity و اختصاصی بودن یا Specificity، مورد ارزیابی قرار گرفت. یکی از بهترین روش‌ها برای این ارزیابی روش ماتریس آشفتگی^۱ می‌باشد. در این روش، هر سیستم چندین مرتبه با استفاده از موارد بهینه کسب‌شده، مورد آزمون قرار می‌گیرد و میانگین نرخ دقت یا صحت تشخیص، حساسیت و اختصاصی بودن مشخص می‌گردد. در واقع این روش یک نمایش عملکردی کمی برای سیستم ایجاد می‌نماید. هر ستون ماتریس، نمونه‌های تشخیص داده شده توسط سیستم و هر ردیف، طبقات یا تشخیص واقعی را نشان می‌دهد.

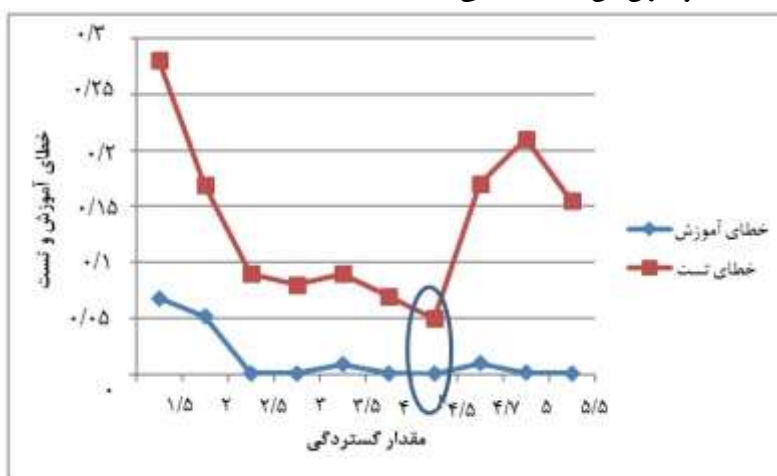
یافته‌ها

پیکربندی و تعیین تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون بهینه در هر یک از دو لایه پنهان در شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون، از طریق آزمایش و خطا و با تغییر در تعداد لایه و نورون مختلف، طی فرآیند تعلیم صورت گرفت. درصد دقت کل سیستم با تعداد نورون متفاوت در هر یک از دو لایه در نمودار ۱ مشخص شده است (نمودار ۱). همان‌طور که از تصویر نیز مشخص است حداقل خطای تشخیص شبکه توسط ۳ و ۴ نورون، به ترتیب در لایه پنهان اول و دوم بوده است و مقدار آن نیز ۰/۰۳ می‌باشد.



نمودار ۱: خطای تعلیم شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پرسپترون با تعداد نورون مختلف در لایه‌های پنهان

پیکربندی‌های مختلف شبکه عصبی تابع پایه شعاعی از طریق آزمایش و خطا و با تغییر در گستردگی نورون‌های لایه پنهان، طی فرآیند تعلیم بررسی شد و میزان گستردگی‌های مختلف مورد آزمون قرار گرفت. همان‌طور که از نمودار ۲ مشخص است حداقل خطای تشخیص با گستردگی ۴/۵ حاصل شده است و میزان این خطا ۰/۰۵ می‌باشد.



نمودار ۲: نمودار خطای تعلیم شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی با گستردگی‌های مختلف

^۱ Confusion Matrix

کارایی سیستم طراحی شده با شبکه عصبی چند لایه پرسپترون در جدول ۳ و سیستم طراحی شده با شبکه عصبی تابع پایه شعاعی در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳: کارایی سامانه حمایتگر تصمیم بالینی طراحی شده با شبکه عصبی چند لایه پرسپترون

تعداد نورون لایه پنهان اول	تعداد نورون لایه پنهان دوم	میانگین درصد نرخ صحت طبقه‌بندی	میانگین درصد حساسیت سامانه طراحی شده توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون	میانگین درصد اختصاصی بودن سامانه طراحی شده توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون
۳	۴	۹۴/۴۰	۹۰/۲۷	۹۵/۲۸

جدول ۴: کارایی سامانه حمایتگر تصمیم بالینی طراحی شده با شبکه عصبی تابع پایه شعاعی

گسترده‌گی	میانگین درصد نرخ صحت طبقه‌بندی	میانگین درصد حساسیت گروه مستعد	میانگین درصد اختصاصی بودن سامانه طراحی شده توسط شبکه عصبی تابع پایه شعاعی
۴/۵	۹۲/۹۴	۸۶/۱۱	۹۴/۳۹

بحث

در تحقیق حاضر یک سیستم خبره تشخیصی دقیق جهت شناسایی زود هنگام نارساخوانی طراحی گردید. از جمله چالش‌ها در شناسایی زود هنگام نارساخوانی، وابستگی بسیار زیاد تشخیص این اختلال به مهارت خواندن و در نتیجه تاخیر زیاد در تشخیص و دریافت مداخله می‌باشد. این تاخیر منجر به آسیب در بسیاری از جنبه‌های روان‌شناختی، مانند اعتماد به نفس، عزت نفس و روابط با همسالان می‌گردد.

جهت ارزیابی کودکان برای طراحی سیستم از برنامه عصبی-شناختی دلاوریان و همکاران استفاده شد. در مقایسه با تحقیقات مشابهی که از تکالیف رایانه‌محور جهت تشخیص و غربالگری دیسلکسیا استفاده کرده‌اند، اذعان می‌گردد که اعتبار و روایی برنامه عصبی-شناختی رایانه‌محور در پژوهش حاضر، بیشتر از مطالعات پیشین می‌باشد. [۶، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳]. افزون بر این، در اغلب مطالعات پیشین، تکالیف با هدف غربالگری و تشخیص زود هنگام دیسلکسیا طراحی شده است، این در حالی است که نمونه‌های آنها، کودکان دبستانی بودند و بخشی از تکالیف طراحی شده، نیاز به توانایی خواندن داشت.

در نهایت سامانه هوشمند حمایتگر تصمیم بالینی طراحی شده توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون با دو لایه پنهان، شامل ۳ نورون در لایه پنهان اول و ۴ نورون در لایه پنهان دوم، و با میانگین درصد صحت تشخیص ۹۴/۴۰، در اولویت اول و سامانه طراحی شده توسط شبکه عصبی تابع پایه شعاعی با گسترده‌گی ۴/۵ و با درصد صحت تشخیص ۹۲/۹۴ در اولویت دوم، برای تشخیص کودکان مستعد دیسلکسیا در نظر گرفته شد.

کارایی سیستم طراحی شده با شبکه عصبی چند لایه پرسپترون از نظر دقت، حساسیت و اختصاصی بودن به ترتیب ۹۴/۴۰٪، ۹۰/۲۷٪ و ۹۵/۲۸٪ حاصل گردید. به همین ترتیب مولفه‌های مذکور برای سامانه طراحی شده توسط شبکه عصبی تابع پایه شعاعی محاسبه و نتیجه به ترتیب ۹۲/۹۴٪، ۸۶/۱۱٪ و ۹۴/۳۹٪ برای دقت، حساسیت و اختصاصی بودن به دست آمد. نتایج حاصل از ارزیابی سامانه‌های حمایتگر در مجموع نشان‌دهنده دقت، حساسیت و اختصاصی بودن هر دو سامانه طراحی شده است.

در مقایسه و بررسی تطبیقی و سیر پژوهشی، در تحقیق Woo و همکاران [۲۴] دقت سامانه طراحی شده در تشخیص دیسلکسیا توسط شبکه عصبی، ۸۲/۵۴٪ و با ماشین بردار پشتیبان، ۸۰/۹۵٪ و در تحقیق Manghirmalani و همکاران دقت سامانه طراحی شده توسط درخت تصمیم، ۹۱/۸٪ و حساسیت آن ۸۴/۵٪ به دست آمده است. [۲۵] در ادامه دقت سامانه طراحی شده را با استفاده از سامانه فازی نیز بررسی و بیشینه دقت در تشخیص را به ۹۰٪ ارتقا داده شد. [۲۳] دقت و حساسیت حاصل از سامانه حمایتگر عصبی طراحی شده در پژوهش حاضر توسط شبکه عصبی پرسپترون با دو لایه پنهان، از سایر سامانه‌های حمایتگر طراحی شده در تحقیقات پیشین، توسط شبکه‌ها و روش‌های هوشمند بیشتر می‌باشد. گمان می‌گردد بخش اعظم این برتری، به جز ارائه برنامه در قالب بازی کودکان و جذابیت آن و در نتیجه جلب توجه کودک و تلاش برای استفاده از بیشینه توانایی خود، لحاظ کردن و اندازه‌گیری مولفه‌های عصبی-شناختی آسیب‌دیده، ناشی از نقص مدارهای نورونی که در سال‌های اخیر به اثبات رسیده‌اند، می‌باشد.

در تبیین یافته‌های مرتبط با کارایی سیستم می‌توان چنین اذعان داشت که با توجه به کارایی و کارآمدی سیستم خبره طراحی شده، سیستم تدوین شده با شبکه عصبی چند لایه پرسپترون دارای ۹۰/۲۷٪ حساسیت و ۹۵/۲۸٪ اختصاصی بودن می‌باشد. به عبارت دیگر، این سیستم

به میزان ۹۰/۲۷٪ قادر به تشخیص کودکان دیسلکسیا (که واقعا مستعد دیسلکسیا هستند) و به میزان ۹۵/۲۸٪ توانایی تشخیص کودکان بدون اختلال خواندن را دارا می‌باشد.

لازم به ذکر است که مطالعه حاضر مانند سایر مطالعات با محدودیت‌هایی همراه بود. از جمله محدودیت‌های این پژوهش پیگیری نمونه‌های اولیه در مقطع پیش‌دبستانی به مدت دو سال تا مشخص شدن تشخیص قطعی کودکان بود. با در نظر گرفتن جنبه طولی این پژوهش، امکان در امان بودن از محدودیت‌های موجود در بررسی‌های طولی فراهم نبود. از جمله این محدودیت‌ها، ریزش نمونه‌ها یا افت آزمودنی در طی دو سال بود. به دلایل متعدد مانند: جابه‌جایی دانش‌آموزان و تغییر مدرسه و عدم اطلاع از مکان جدید آموزشی و چندین مورد مهاجرت به شهرهای دیگر، ریزش و افت در نمونه‌ها حاصل گردید. جهت جبران این محدودیت امید است در پژوهش‌های بعدی در این راستا تلاش شود تا حداقل ریزش نمونه‌ها صورت گیرد و والدین نیز جهت همکاری بیشتر ترغیب گردند تا در صورت قصد تغییر مکان یا هر عامل دیگری که منجر به حذف از پژوهش می‌گردد، ارتباط خود را جهت شرکت در ادامه تحقیق حفظ نمایند.

نتیجه‌گیری

با توجه به اعتبار و روایی بالای برنامه عصبی-شناختی و و کارآمدی سامانه حمایتگر بالینی که شامل دقت، اختصاصی بودن و حساسیت می‌باشد، می‌توان با اطمینان بالا از این سامانه هوشمند جهت پیش‌بینی یا تشخیص زودهنگام کودکان مستعد دیسلکسیا، پیش از ورود به دبستان، استفاده نمود و با بسیاری از عوارض ناشی از این اختلال مقابله نمود.

تشکر و قدردانی

از بنیاد ملی نخبگان جهت حمایت مالی پژوهش حاضر و از شرکت‌کنندگان کمال سپاس و قدردانی را داریم.

منابع

1. Kudo MF, Lussier CM, Swanson HL. Reading disabilities in children: A selective meta-analysis of the cognitive literature. *Research in developmental disabilities* 2015; 40:51-62 .
2. Afrooz GA. *Learning Disorders*. Payam Noor University Publisher 1392; 15 .
3. Bayram S, Camnalbur M, Esgin E. *Cypriot Journal of Educational Sciences*. Sciences 2012; 7(2):129-48.
4. Pugh KR, Landi N, Preston JL, Mencl WE, Austin AC, Sibley D, Fulbright RK, Seidenberg MS, Grigorenko EL, Constable RT, Molfese P. The relationship between phonological and auditory processing and brain organization in beginning readers. *Brain and language* 2013 125(2):173-83.
5. Christo C, Davis JM, Brock SE. *Identifying, assessing, and treating dyslexia at school*. Springer Science & Business Media 2009.
6. Vidyasagar N, Bhogle S. ART: A Cognitive Screening Tool for Reading and Arithmetic Difficulties.
7. Ozyilmaz L, Yildirim T. Artificial neural networks for diagnosis of hepatitis disease. In *Neural Networks. Proceedings of the International Joint Conference 2003*; 1: 586-589.
8. Delavarian M, Towhidkhal F, Gharibzadeh S, Dibajnia P. Automatic classification of hyperactive children: Comparing multiple artificial intelligence approaches. *Neuroscience letters* 2011; 498(3):190-3.
9. Delavarian M, Towhidkhal F, Dibajnia P, Gharibzadeh S. Designing a decision support system for distinguishing ADHD from similar children behavioral disorders. *Journal of medical systems* 2012; 36(3):1335-43.
10. Delavarian M, Nayebi E, Dibajnia P, Afrooz Gh.A, Gharibzadeh Sh, Towhidkhal F. Designing an accurate system for distinction of ADHD from oppositional Defiant Disorder with Artificial Neural Network. *Medical Rehabilitation Journal* 1394; 4 (2): 90-98 [In Persian].
11. Dreyfus G. (). *Neural networks: an overview*. Neural networks methodology and applications (EBook): 497.
12. Manghirmalani P, Panthaky Z, Jain K. Learning disability diagnosis and classification-a soft computing approach. In *Information and Communication Technologies (WICT) 2011*: 479-484.
13. Best JR, Miller PH, Naglieri JA. Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and individual differences* 2011; 21(4):327-36.
14. Kershner JR. A Mini-Review: Toward a Comprehensive Theory of Dyslexia. *Journal of Neurology and Neuroscience* 2015.
15. Best JR, Miller PH, Naglieri JA. Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and individual differences* 2011; 21(4):327-36.
16. Casale A. *Identifying Dyslexic Students: The need for computer-based dyslexia screening in higher education*. Professor Colin Riordan Vice-Chancellor 2006:69.

17. Protopapas A, Skaloumbakas C, Bali P. Validation of unsupervised computer-based screening for reading disability in the Greek elementary Grades 3 and 4. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal* 2008;6(1):45-69.
18. Georgiou GK, Papadopoulos TC, Zarouna E, Parrila R. Are auditory and visual processing deficits related to developmental dyslexia?. *Dyslexia* 2012; 18(2):110-29.
19. Mat NS, Shamsuddin SN, bt Husain R, Makhtar M, Isa WM, Mohamad FS. A Conceptual Framework for Designing a Computer-based Dyslexia Screening Test. In *The Third International Conference on Informatics & Applications* 2014: 46-5.
20. Toki, E.I., Zakopoulou, V., Pange, J. Preschoolers' Learning Disabilities Assessment: New Perspectives in Computerized Clinical Tools. *Sino-US English Teaching* 2014; 11(6):401-410.
21. Andrade OV, Andrade PE, Capellini SA. Collective screening tools for early identification of dyslexia. *Frontiers in psychology* 2014; 5.
22. Yazdani F, Akbarfahimi M, Mehraban AH, Jalaei S, Torabi-nami M. A computer-based selective visual attention test for first-grade school children: design, development and psychometric properties. *Medical journal of the Islamic Republic of Iran* 2015; 29: 184.
23. Jain K, Manghirmalani P, Dongardive J, Abraham S. Computational diagnosis of learning disability. *International Journal of Recent Trends in Engineering* 2009; 2(3):64-6.
24. Andrade OV, Andrade PE, Capellini SA. Collective screening tools for early identification of dyslexia. *Frontiers in psychology* 2014; 5.
25. Wu TK, Meng YR, Huang SC. Application of Artificial Neural Network to the Identification of Students with Learning Disabilities. In *IC-AI 2006*: 162-168.
26. Manghirmalani P, More D, Jain K. A fuzzy approach to classify learning disability. *International journal of advanced research in artificial intelligence* 2012; 1(2).