

Developing a Predicting Model for Neonatal Hypoxic-Ischemic Encephalopathy Using Data Mining

Atefeh Abbasi¹ (M.S.), Somayeh Nasiri^{2*} (Ph.D.), Sayyed Mostafa Mostafavi³ (Ph.D.),
Abbas Habibolahi⁴ (M.D.)

1 Master of Science in Health Information Technology, School of Health Management and Information Sciences, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2 Assistant Professor, Department of Health Information Management, School of Health Management and Information Sciences, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3 Assistant Professor, Department of Artificial Intelligence, Faculty of Computer Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

4 Assistant Professor, Department of Pediatrics, Shariati Hospital, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Received: 18 Oct. 2024

Accepted: 28 Sep. 2025

Background and Aim: Neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy (HIE) is a clinical syndrome characterized by impaired brain function resulting from oxygen deprivation and reduced cerebral blood flow. Developing predictive models can serve as valuable tools for physicians in forecasting disease outcomes and facilitating early interventions. The present study was conducted with the aim of constructing a predictive model for neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy using data mining algorithms.

Materials and Methods: This applied study was conducted using a descriptive approach. In the first stage, the factors influencing the prediction of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy were identified through expert surveys. In the second stage, data pertaining to 4,000 neonates were collected from the Iman system, available in the database of the Ministry of Health and Medical Education, during the years 2020–2021. Following preprocessing, a dataset comprising 3,962 records with 13 features was extracted. Subsequently, predictive models were developed using algorithms including artificial neural networks, decision tree variants, random forest, support vector machines, logistic regression, and Bayesian networks. Model construction was performed using the Python programming language within the Anaconda environment. Finally, performance evaluation and comparison were carried out using metrics such as accuracy, precision, specificity, F1-score, and the Area Under the Curve (AUC).

Results: The findings of the study revealed that the Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUROC) for models developed using logistic regression, artificial neural networks, random forest, Bayesian networks, support vector machines, and decision trees were 86%, 86%, 84%, 82%, 76%, and 74%, respectively. The highest performance was achieved by the logistic regression algorithm, with an accuracy of 81%, sensitivity of 85%, and specificity of 96%. The greatest sensitivity was observed in logistic regression, artificial neural networks, and support vector machines, whereas the naïve Bayesian algorithm demonstrated the lowest performance metrics. In the predictive model for hypoxic-ischemic encephalopathy, the most influential feature was the first-minute Apgar score, while the least influential factor was delivery outside the hospital.

Conclusion: The findings of the present study indicated that the predictive model for neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy based on the logistic regression algorithm demonstrated superior performance. It is anticipated that the application of practical data-driven algorithms for neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy will play a crucial role in the rapid identification of the condition and the provision of appropriate treatment. Such approaches can enable healthcare professionals to act within the critical window of opportunity, thereby improving the quality of care, preventing disease progression, and reducing the severity of adverse outcomes.

Keywords: Hypoxic-Ischemic Encephalopathy, Neonatal, Data Mining, Prediction

Journal of Payavard Salamat

Vol. 19, No. 4; Oct. 2025: 326-345

مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان با استفاده از داده‌کاوی

عاطفه عباسی^۱، سمیه نصیری^{۲*}، سیدمصطفی مصطفوی^۳، عباس حبیب‌اللهی^۴

چکیده

زمینه و هدف: انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی یک سندرم بالینی از اختلالات عملکرد مغزی است که به علت آسیب‌های ناشی از کمبود اکسیژن و خون‌رسانی در مغز حادث می‌شود. ایجاد مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند راهنمای خوبی برای پزشکان در پیش‌بینی بیماری‌ها و مداخلات زودهنگام باشد. مطالعه‌ی حاضر با هدف ایجاد مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان با استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی انجام شده است.

روش بررسی: این مطالعه از نوع کاربردی بود که به روش توصیفی انجام شد. ابتدا عوامل مؤثر در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی از طریق نظرسنجی متخصصان تعیین شد. مرحله‌ی دوم، اطلاعات مربوط به ۴۰۰۰ نوزاد از سامانه ایمان موجود در پایگاه داده وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد که پس از مرحله‌ی پیش‌پردازش مجموعه‌ی داده با ۳۹۶۲ رکورد با ۱۳ ویژگی استخراج شد. سپس، مدل با استفاده از الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی، انواع درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک و شبکه بیزین طراحی شد. به منظور ایجاد مدل‌ها از زبان برنامه‌نویسی پایتون و نرم‌افزار آن‌اکندا استفاده شد. در نهایت، سنجه‌های صحت، دقت، ویژگی، معیارهای F1 و سطح زیرمنحنی (Area Under the Curve (AUC)) برای ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد مدل محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که سطح زیرمنحنی مشخصه‌ی عملکرد گیرنده (Receiver Operating Characteristic (AUROC)) مدل‌های ایجادشده با استفاده از الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی، جنگل تصادفی، شبکه بیزین، ماشین‌بردار پشتیبان و درخت تصمیم به ترتیب برابر ۸۶، ۸۶، ۸۴، ۸۲، ۷۶ و ۷۴ درصد بود. بهترین کارایی به الگوریتم رگرسیون لجستیک با دقت ۸۱ صحت ۸۵ و ویژگی ۹۶ درصد اختصاص داشت. بیشترین میزان صحت مربوط به الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان و کمترین میزان سنجه‌ها مربوط به الگوریتم بیزین ساده بود. بالاترین میزان اهمیت ویژگی‌ها در مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک مربوط به نمره آپگار در دقیقه اول پس از تولد و کمترین میزان اهمیت مربوط به تولد نوزاد خارج از بیمارستان بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان داد که مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی بر مبنای الگوریتم رگرسیون لجستیک از عملکرد بهتری برخوردار بود. انتظار می‌رود که به‌کارگیری الگوریتم‌های کاربردی داده برای نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نقش مهمی در شناسایی سریع بیماری و ارائه درمان مناسب داشته باشد تا متخصصان مراقبت سلامت بتوانند در فرصت طلایی و زمان محدود، اقدامات لازم را در جهت بهبود مراقبت باکیفیت، جلوگیری از پیشرفت بیماری و کاهش شدت پیامدهای منفی ناشی از آن انجام دهند.

واژه‌های کلیدی: انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک، نوزادان، داده‌کاوی، پیش‌بینی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۷/۲۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۷/۶

* نویسنده مسئول:

سمیه نصیری:

دانشکده مدیریت و اطلاع‌رسانی دانشگاه علوم پزشکی ایران

Email:

nasiri.so@iums.ac.ir

۱ کارشناس ارشد فناوری اطلاعات سلامت، دانشکده مدیریت و اطلاع‌رسانی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

۲ استادیار گروه مدیریت اطلاعات سلامت، دانشکده مدیریت و اطلاع‌رسانی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

۳ استادیار گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۴ استادیار گروه کودکان، بیمارستان شریعتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

مقدمه

انسفالوپاتی نوزادی (Neonatal encephalopathy) به عنوان سندرم بالینی از اختلالات عملکرد عصبی یا بیماری مغزی شناخته شده است که به دلیل نقص در سیستم اعصاب مرکزی رخ می‌دهد. این بیماری، نوزادانی را درگیر می‌کند که در دوره‌ی ترم یا پس از دوره‌ی ترم (نوزاد دیررس) به دنیا آمده‌اند (۴-۱). اغلب نوزادان با علایمی همچون ناتوانی در شروع تنفس و حفظ آن، ضعف عضلانی، کاهش رفلکس‌ها و وضعیت مردمک‌ها مواجه هستند (۵). در صورتی که انسفالوپاتی نوزادی به علت آسیب‌های ناشی از هیپوکسی (کمبود اکسیژن) و ایسکمیک (کمبود خون‌رسانی) در مغز حادث شود، به آن انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک (Hypoxia-ischemia encephalopathy (HIE)) اطلاق می‌شود (۳). انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی به درجات مختلف آسیب مغزی ناشی از خفگی اشاره دارد که با کمبود جزئی یا کامل اکسیژن، کاهش یا توقف جریان خون مغزی در طول دوره پری ناتال همراه است (۶). طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، خفگی داخل رحمی و متعاقب آن انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک جزو علت‌های شایع آسیب مغزی و مرگ و میر دوره نوزادی است (۷). انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی نرخ مرگ و میر بالایی دارد و در برخی موارد تا ۶۰ درصد نیز گزارش شده است. حتی در میان نوزادانی که زنده می‌مانند و از بیمارستان ترخیص می‌شوند، حدود یک چهارم آن‌ها با مشکلات پایدار در رشد عصبی و توانایی‌های ذهنی در دوران کودکی مواجه می‌شوند (۸). جمعیت نوزادان مبتلا به این بیماری از نظر بالینی، الگوی بهبود و تخصیص منابع در سرتاسر جهان متنوع است (۹). در کشورهای توسعه یافته، میزان شیوع انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک تا ۳ در هر ۱۰۰۰ تولد زنده تخمین زده شده است؛ در حالی که در کشورهای در حال توسعه، میزان شیوع این بیماری می‌تواند بسیار بیشتر بوده و از ۵ تا ۴۰ در هر ۱۰۰۰ تولد متغیر باشد (۱۰). سالانه حدود ۴۰۰ هزار نوزاد در سراسر جهان دچار اختلالات عصبی-رشدی ناشی از انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک می‌شوند (۶).

در حال حاضر تنها روش درمانی موجود برای کاهش آسیب‌های ناشی از انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک، سرمادرمانی (هیپوترمی) است که به طور مکرر برای کاهش آسیب مغزی و بهبود نتیجه عصبی تأیید شده است. تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از سرمادرمانی اگر در طی ۶ ساعت اول زندگی نوزاد آغاز شود، می‌تواند شدت آسیب مغزی ناشی از هیپوکسی را کاهش دهد. اگرچه

مداخله‌ی زودهنگام با سرما درمانی نتیجه را بهبود می‌بخشد، پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک دشوار است و هیچ نشانگر بالینی قابل اعتمادی وجود ندارد (۱۱). در حال حاضر، بررسی خطر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک عمدتاً براساس ویژگی‌های مربوط به شرح حال و سوابق پزشکی مادر و جنین در دوران بارداری، حین بارداری و زایمان صورت می‌گیرد. با این حال، هنوز هیچ شاخص بالینی دقیق و قابل اندازه‌گیری برای پیش‌بینی این که کدام نوزاد نیاز به درمان داشته وجود ندارد و این موضوع تصمیم‌گیری درمانی را به یک چالش تبدیل کرده است (۶). به‌طور سنتی، برای یادگیری عوامل خطر مرتبط با انسفالوپاتی نوزادی به رویکردهای مبتنی بر دانش متخصصان بالینی تکیه شده است. متغیرهای مورد بررسی ممکن است در معرض سوگیری انتخاب قرار گیرند؛ به طوری که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی بالقوه می‌توانند نادیده گرفته شوند؛ بنابراین، فرصت زمانی محدودی برای تشخیص سریع و شناسایی زودهنگام بیماری و ارایه درمان مناسب در میان نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی در بدو تولد وجود دارد؛ در حالی که مداخلات زودهنگام تأثیر بالقوه‌ای در پیشگیری از انسفالوپاتی نوزادی یا کاهش شدت پیامدهای منفی ناشی از آن نظیر فلج مغزی و صرع را به دنبال دارد. اگر پیش‌بینی‌های زودرس امکان‌پذیر باشد، می‌تواند به پزشکان فرصتی برای بهبود کیفیت مراقبت از نوزادان یا جلوگیری از توسعه‌ی آن دهد (۱۴-۱۱).

تشخیص به‌موقع یکی از ارکان اساسی در طب نوزادان به شمار می‌رود؛ زیرا می‌تواند تأثیر چشمگیری بر روند درمان و پیامدهای بیماری داشته باشد. تحولات جدید در الگوریتم‌های داده‌کاوی، امکان تحلیل عمیق‌تری از بیولوژی بیماری و زمینه‌ساز توسعه‌ی ابزارهای دقیق‌تر برای پیش‌بینی و پیش‌آگهی آن فراهم می‌کند. این پیشرفت‌ها نه تنها باعث بهبود مدیریت بالینی بیماری‌های نوزادان شده‌اند، بلکه مسیر جدیدی را برای مداخلات زودهنگام و درمان‌های مؤثرتر هموار کرده‌اند (۱۶ و ۱۵). این روش‌ها با هدف ایجاد مدل‌های پیش‌بینی‌کننده در زمینه‌های مختلف پزشکی رواج یافته است که می‌تواند راهنمای خوبی برای پزشکان در پیش‌بینی بیماری‌ها باشد (۱۷). با به‌کارگیری روش‌های داده‌کاوی، الگوهای ناشناخته و روابط بین ویژگی‌ها از پایگاه‌های داده‌ی مختلف کشف می‌شود که هدف آن کمک به فرایند تشخیص و درمان بیماری است (۱۸). روش‌های داده‌کاوی برای پیش‌بینی و توصیف در مورد مجموعه‌ی هدف استفاده می‌شود. در روش پیش‌بینی، انتهای کار مدلی ایجاد می‌شود که از آن می‌توان برای دسته‌بندی، برآورد و پیش‌بینی مقدار یک ویژگی استفاده نمود. در روش

و مرگومیر در دوره نوزادی محسوب می‌شود، این بیماری دارای عوارض و پیامدهای عصبی قابل توجهی مانند صرع، فلج مغزی و اختلالات شناختی است که می‌تواند عواقب خطرناکی را برای نوزادان در آینده داشته باشد و هزینه‌های سنگینی را برای درمان بیماران به خانواده‌های آن‌ها تحمیل نماید. ایجاد مدلی برای پیش‌بینی زود هنگام بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی می‌تواند به‌عنوان بهترین گزینه برای بهبود در برنامه‌ریزی و مدیریت اقدامات درمانی برای نوزادان محسوب شود تا ارایه‌دهندگان مراقبت با توجه به محدودیت زمانی بتوانند تصمیمات درستی بگیرند. با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط محقق به نظر می‌رسد که مطالعه‌ای در زمینه‌ی پیش‌بینی انسفالوپاتی نوزادی در ایران انجام نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف ارایه مدل پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی با استفاده از داده‌های انجام شده است که از داده‌های ثبت شده در سامانه ملی اطلاعات مادر و نوزاد (سامانه ایمان) برگرفته از پایگاه داده‌ی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی استفاده شده است.

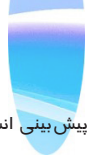
روش بررسی

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بود که به روش کمی-توصیفی در دو مرحله انجام شد. گام اول از مرحله اول پژوهش شامل مرور متون و بررسی مقالات منتشر شده‌ی بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ در خصوص شناسایی عوامل مؤثر بر بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی بود. ابتدا کلیدواژه‌های «انسفالوپاتی نوزادی»، «انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی»، «عامل خطر» به زبان انگلیسی و فارسی در پایگاه‌های داده‌ی PubMed, Scopus, ScienceDirect, Magiran و موتور جستجوی Google Scholar با استفاده از عملگرهای بولین AND و OR جستجو شدند.

جدول ۱: استراتژی جستجو به تفکیک پایگاه‌های داده و موتور جستجو

استراتژی جستجو	پایگاه داده/موتور جستجو
((“Risk factor”[Title/Abstract]) AND (Infant OR Newborn OR Neonatal)) AND (“Hypoxic-ischemic encephalopathy” OR “Hypoxic-ischemic encephalopathy” OR “Hypoxic ischemic encephalopathy”)	PubMed
Title, abstract, keywords: “Risk factor» AND (Infant OR Newborn OR Neonatal) AND («Hypoxic-ischemic encephalopathy» OR «Ischemic-hypoxic encephalopathy» OR “Hypoxic ischemic encephalopathy”)	ScienceDirect

توصیفی هدف کلی مدل توصیف و به دست آوردن شناختی از الگوها و روابط حاکم بر داده‌ها در مجموعه داده‌های بزرگ است (۱۹). نتایج نشان داده است که استفاده از مدل‌های پیش‌بینی در داده‌کاوی می‌تواند به پزشکان در شناسایی زودرس و دقیق انسفالوپاتی نوزادی و تسریع اقدامات درمانی یاری نماید. همچنین، استفاده از مدل پیش‌بینی می‌تواند نقطه شروع خوبی برای توسعه‌ی سیستم تصمیم‌یار بالینی (Clinical Decision Support System (CDSS)) در شرایط پیچیده‌تری باشد (۱۱). در این راستا، از عمده مطالعات انجام شده پیرامون الگوریتم‌های داده‌کاوی دوره‌ی نوزادی در ایران می‌توان به بررسی عوامل مؤثر بر پیش‌بینی وضعیت بدو تولد نوزادان (۲۰)، سیستم‌های ایجاد شده در جهت پیش‌بینی خطر مرگ نوزادان با استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی (۲۱) و ارایه مدل برای پیش‌بینی نارس بودن نوزادان با استفاده از روش‌های داده‌کاوی (۲۲) اشاره نمود. از سوی دیگر، مطالعاتی در خارج از کشور نظیر Leith و همکاران (۲۳) و Mooney و همکاران (۱۱) با هدف طراحی مدل پیش‌بینی خطر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی، مطالعه‌ی Vesoulis و همکاران (۲۴) و مطالعه‌ی El-Shahed و همکاران (۲۵) پیامدهای بعد از انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی انجام شده است. بسیاری از این مطالعات خارجی از رویکرد داده‌کاوی بهره‌نبرده‌اند و در آن‌ها تنها از روش‌های تحلیل چندمتغیره برای ساخت مدل پیش‌بینی استفاده شده است. علاوه بر این، تعمیم‌پذیری این مدل‌ها به جمعیت بومی ایران با محدودیت‌های قابل توجهی روبروست. زیرا بسیاری از این مدل‌های طراحی شده متکی بر داده‌هایی هستند که یا در ایران به‌راحتی در دسترس نیستند (مانند گازهای خونی، نشانگرهای بیوشیمیایی و داده‌های تصویربرداری پیشرفته) یا با ساختار جمعیتی و فرهنگی کشور (الگوهای مراقبت در دوران بارداری و حین زایمان، شاخص‌های نژادی و قومیتی) و ویژگی‌های بالینی منطبق نیستند. از آنجایی که انسفالوپاتی یکی از مهم‌ترین علل ناتوانی‌های عصبی دائمی



(TITLE-ABS-KEY (Risk factor)) AND (TITLE-ABS-KEY (infant OR newborn OR neonatal)) AND (TITLE-ABS-KEY (Hypoxic-ischemic encephalopathy” OR “Ischemic-hypoxic encephalopathy” OR “Hypoxic Ischemic Encephalopathy)) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2011) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2010)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, “English”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, “ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, “cp”)) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, “j”) OR LIMIT-TO (SRCTYPE, “p”))

Scopus

«Risk factor» AND (Infant OR Newborn OR Neonatal) AND («Hypoxic-ischemic encephalopathy» OR «Ischemic-hypoxic encephalopathy» OR “Hypoxic ischemic encephalopathy”)

Google scholar

عوامل خطر

انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک یا انسفالوپاتی هیپوکسیک ایسکمیک نوزادی

SID, Magiran

شهید فهمیده، علی اصغر(ع) و امام خمینی(ره) ارسال شد. نمونه‌گیری به روش غیر تصادفی از نوع دسترسی آسان بود که از این تعداد ۲۰ نفر از متخصصان(چهار نفر فوق تخصص طب مادر و جنین، هشت نفر متخصص اطفال، چهار نفر فوق تخصص مغز و اعصاب اطفال و چهار نفر فوق تخصص نوزادان) به سوالات پرسش‌نامه تعیین عوامل مؤثر بر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی پاسخ دادند. برای سنجش پایایی پرسش‌نامه از آلفای کرونباخ استفاده شد که ضریب همبستگی آن ۰/۸۹ بود. این مقدار حاکی از سطح بالای پایایی ابزار بوده و بیانگر سازگاری درونی مناسبی بین آیتم‌ها و قابل اتکا بودن ابزار در ارزیابی نظر متخصصان نسبت به عوامل مؤثر بر بیماری مورد مطالعه بود. تحلیل داده در این مرحله با استفاده از آمار توصیفی(فراوانی، درصد و میانگین) در نرم‌افزار Excel انجام شد. ابتدا درصد موافقت پزشکان بر روی متغیرهای انتخابی تعیین و پس از آن نمره میانگین اهمیت هر متغیر محاسبه شد. سپس عواملی که بیشتر از ۶۰ درصد متخصصان میزان اهمیت آن را «زیاد= چهار» و «خیلی زیاد= پنج» تشخیص داده بودند، به عنوان عوامل مؤثر نهایی در مرحله بعدی برای توسعه‌ی مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی لحاظ شدند.

مرحله دوم، جهت طراحی و ارزیابی مدل اولیه پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی بود که جامعه پژوهش شامل تمام نوزادانی بود که از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ متولد شدند و اطلاعات آن‌ها در سامانه ایمان(سامانه ملی مادر و نوزاد ایران) در پایگاه داده‌ی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

استراتژی جستجو به تفکیک پایگاه‌های داده و موتور جستجو در جدول ۱ نشان داده شده است. مطالعات بازبینی شده در نرم‌افزار اندنوت نسخه X8.1 وارد و موارد تکراری حذف شد. سپس، عناوین و چکیده مقالات و پس از آن متن کامل مقالات مطابق با معیارهای ورود و خروج پژوهش بررسی شد. در نهایت مقالات غیر مرتبط از مطالعه حذف شد.

گام دوم از مرحله اول پژوهش، به منظور تعیین عوامل مؤثر بر پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک انجام شد. بدین صورت که پرسش‌نامه‌ای محقق ساخته براساس مرور متون و عناصر داده‌ی موجود در فرم ثبت اطلاعات زایمان تا دو ساعت بعد از تولد در اتاق زایمان و مراقبت ویژه/ تخصصی نوزادان و همچنین با مشورت متخصص بالینی طراحی شد. این پرسش‌نامه از دو بخش کلی تشکیل شد که بخش اول شامل مشخصات فردی و بخش دوم شامل عوامل مؤثر بر بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک(قسمت اول: عوامل مؤثر قبل از بارداری و قبل از زایمان و قسمت دوم: عوامل مؤثر حین زایمان) بود. ابزار پرسش‌نامه در طیف پنج‌گزینه‌ای لیکرت(خیلی کم= یک، کم= دو، متوسط= سه، زیاد= چهار و خیلی زیاد= پنج) طراحی شد. روایی صورتی پرسش‌نامه توسط سه نفر متخصص بالینی(یک نفر متخصص اطفال، یک نفر فوق تخصص نوزادان و یک نفر متخصص مغز و اعصاب اطفال) تأیید شد. سپس، این پرسش‌نامه برای ۳۰ نفر از پزشکان متخصص و فوق تخصص در رشته‌های طب مادر و جنین(پریناتولوژی)، اطفال، مغز و اعصاب اطفال و نوزادان شاغل در بیمارستان‌های مرکز طبی کودکان،

ثبت شده است. علت انتخاب جامعه‌ی مذکور کامل بودن پرونده‌ها در سال‌های مذکور نسبت به سال‌های دیگر بود. بنابراین، تعداد نمونه‌ی پژوهش شامل ۱۰۰۰ بیمار مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی و ۳۰۰۰ نوزاد سالم بود که با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شد. کل نمونه‌ها (بیمار و سالم) در مجموعه داده ذخیره و به‌عنوان ورودی مدل الگوریتم‌های داده‌کاوی استفاده شد. داده‌ها به‌صورت الکترونیک در قالب فایل Excel از دفتر جمعیت خانواده و مدارس وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی دریافت شد. داده‌های گردآوری شده، حاوی متغیرهای کمی و کیفی مربوط به بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک بود.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و پیش‌پردازش آن‌ها انجام شد که در زیر مراحل پیش‌پردازش داده‌ها در این پژوهش توضیح داده شده است:

۱. شناخت و پیش‌پردازش داده‌ها (آماده‌سازی)

مجموعه داده‌ی استفاده شده در قالب فایل Excel مربوط به بیماران انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی بود که از سامانه‌ی ایمان دفتر جمعیت خانواده و مدارس وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تهیه شد. مجموعه داده‌ی اولیه حاوی ۴۵ عامل مؤثر تعیین شده از مرحله اول برای ۴۰۰۰ نوزاد (۳۰۰۰ نوزاد سالم و ۱۰۰۰ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک) بود. سپس، مجموعه داده‌ی ایجاد شده به‌منظور پیش‌پردازش داده‌ها از نظر مدیریت مقادیر مفقود شده و تأیید صحت داده‌ها بررسی شد و تعداد رکورد‌های خالی برای هر یک از عوامل مؤثر شناخته شده در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی محاسبه گردید.

۲. بررسی نرمال یا غیرنرمال بودن داده‌های عددی

برای داده‌های عددی از مقیاس‌بندی استاندارد (Standard Scaler) استفاده شد. این کار برای تبدیل مقادیر این ستون‌ها به مقادیر استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک انجام شد.

۳. نرمال‌سازی متغیرهای کمی

نرمال‌سازی داده‌ها باعث یکدست شدن و هماهنگ شدن داده‌ها در دامنه‌ی مورد بررسی می‌شود. در این پژوهش تمامی مشاهدات عددی در بازه‌ی صفر و یک نرمال‌سازی شد.

۴. مصورسازی

الگوریتم t-SNE به‌عنوان الگوریتم توکاری همسایگی تصادفی توزیع شده

۵. تقسیم داده‌ها به داده‌های آموزشی و آزمایشی

پس از پاک‌سازی و آماده‌سازی، مجموعه داده به دو گروه آموزشی و آزمایشی تقسیم شد. در این پژوهش با توجه به ماهیت داده‌ها، ۸۰ درصد کل مجموعه داده برای یادگیری مدل (مجموعه داده‌ی آموزشی) اختصاص داده شد و ۲۰ درصد باقی‌مانده برای آزمودن مدل (مجموعه داده‌ی آزمایشی) استفاده شد.

۶. ساخت مدل و ارزیابی

برای ساخت مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی در این پژوهش از الگوریتم‌های منتخب شبکه‌های عصبی مصنوعی، درخت تصمیم C5.0، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک و شبکه بیزین استفاده شد. به‌منظور ایجاد مدل‌ها از زبان برنامه‌نویسی پایتون و نرم‌افزار آن‌اکندا استفاده گردید. پس از مدل‌سازی به ارزیابی نتایج پرداخته شد که این امر به‌منظور بهبود مدل و قابل استفاده شدن آن انجام گرفت. از آن‌جا که روش‌های مدل‌سازی مختلف در شرایط گوناگون، رفتار متفاوت دارد، برای مقایسه‌ی این روش‌ها از سنجه‌هایی نظیر دقت (Precision)، صحت (Accuracy)، ویژگی (Specificity) و معیار FI استفاده شد. برای محاسبه‌ی این سنجه‌ها از مجموعه داده‌ی آزمایشی استفاده گردید. به‌منظور انتخاب مدل بهینه، مدل‌های ایجاد شده طبق معیارهای F1 و سطح زیرمنحنی مشخصه عملکرد گیرنده (Receiver Operating Characteristic (ROC)) تحلیل شدند. نحوه‌ی محاسبه‌ی معیارهای سنجش کارایی مدل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: نمونه‌ی مناسبی معیارهای سنجش کارایی مدل‌های داده‌کاوی

سنجه	فرمول محاسباتی	تعریف	واحد اندازه‌گیری
دقت (Precision)	$\frac{\text{مثبت حقیقی}}{\text{مثبت حقیقی} + \text{مثبت کاذب}}$	سنجش توانایی مدل‌های انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک در یافتن میزان درستی تشخیص‌های مثبت است.	درصد
صحت (Accuracy)	$\frac{\text{منفی حقیقی} + \text{مثبت حقیقی}}{\text{مثبت حقیقی} + \text{منفی حقیقی} + \text{مثبت کاذب} + \text{منفی کاذب}}$	سنجش توانایی مدل‌های انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک در یافتن افتراق صحیح موارد سالم و بیمار است.	درصد
ویژگی (Specificity)	$\frac{\text{منفی حقیقی}}{\text{منفی حقیقی} + \text{مثبت کاذب}}$	سنجش توانایی مدل‌های انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک در یافتن موارد سالم است.	درصد
معیار F1	$\frac{2 * \text{دقت} * \text{حساسیت}}{\text{دقت} + \text{حساسیت}}$	ارزیابی عملکرد سیستم پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان براساس دو برابر کردن نسبت حاصل ضرب دقت در حساسیت به مجموع پوشش و حساسیت محاسبه شد.	درصد

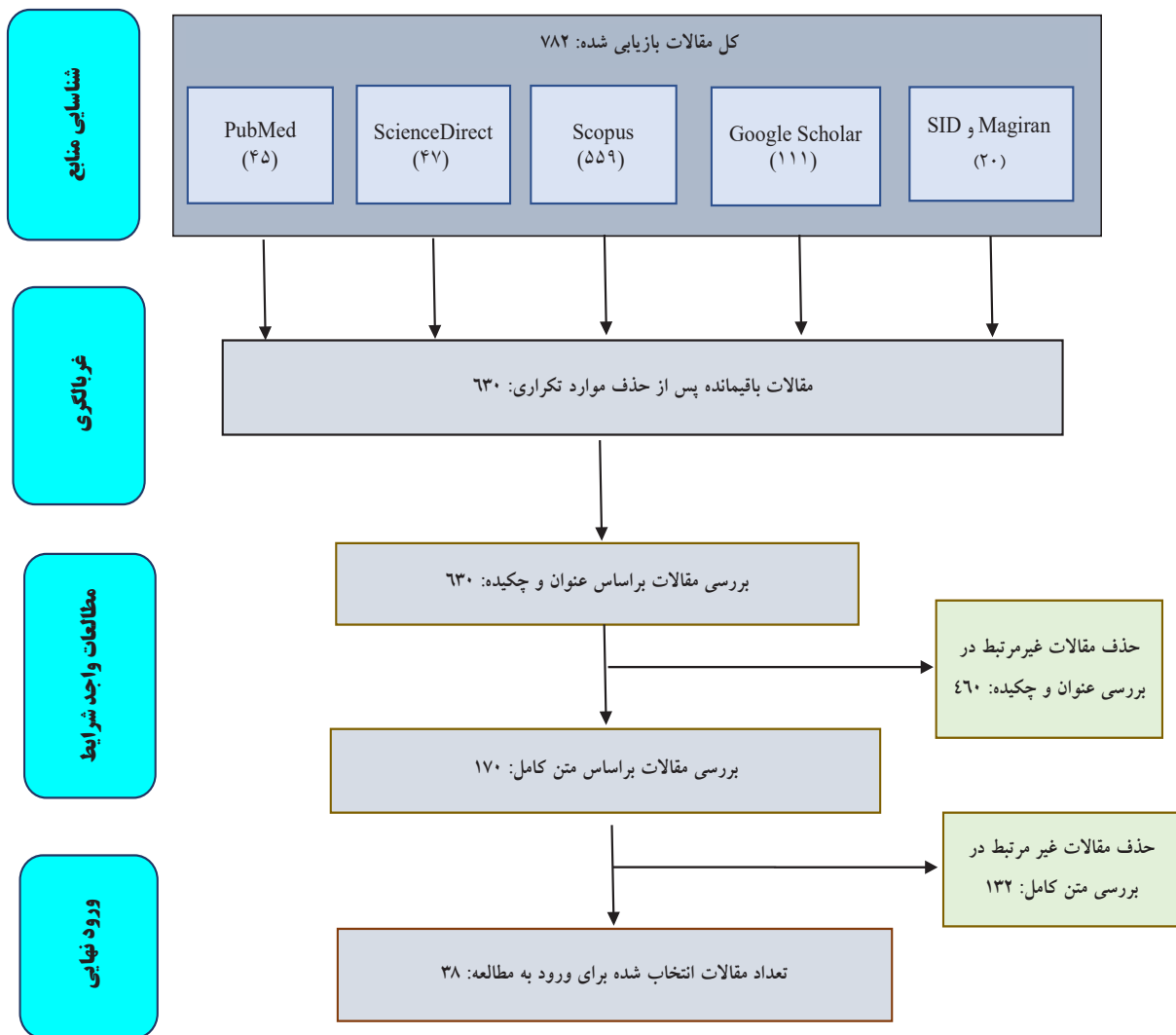
یافته‌ها

- تعیین عوامل مؤثر بر پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک

نوزادی

از مجموع ۷۸۲ مطالعه بازیابی شده، ۷۶۲ مقاله در پایگاه‌های داده به زبان انگلیسی یافت شدند که موارد تکراری با استفاده از نرم‌افزار اندنوت حذف شد.

سپس، غربالگری ۶۳۰ مقاله براساس عنوان و چکیده و بررسی ۱۷۰ مقاله بر اساس متن کامل آن با توجه معیار ورود و خروج پژوهش انجام شد. علی‌رغم جستجوی کلیدواژه‌ها در پایگاه‌های داده به زبان فارسی، مقاله‌ای مرتبط با معیار ورود پژوهش یافت نشد. در نهایت، ۳۸ مقاله‌ی مرتبط با عوامل مؤثر بر بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی وارد مطالعه شدند.



شکل ۱: فرایند غربالگری و انتخاب مقالات مربوط به عوامل مؤثر بر بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی (مرور متون)

مؤثر بر پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی انتخاب شدند. جدول ۲ توزیع فراوانی نظرات متخصصان در خصوص اهمیت عوامل مؤثر بر پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی ویژگی‌ها را نشان می‌دهد.

فرایند انتخاب مقالات در شکل ۱ آورده شده است. در نهایت، ۴۵ عامل مؤثر بر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی از طریق مرور متون شناسایی شد. سپس، از مجموع ۴۵ ویژگی که به نظرسنجی متخصصان گذاشته شده بود، ۱۳ ویژگی امتیاز بالای ۶۰ درصد را کسب کردند و به‌عنوان عوامل نهایی

جدول ۳: توزیع فراوانی نظرات متخصصان در خصوص اهمیت عوامل مؤثر بر پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی

نتیجه	درصد (مجموع اهمیت خیلی زیاد و زیاد)	ویژگی
✓	۹۰	نمره آپگار دقیقه اول پس از تولد
✓	۹۰	نمره آپگار دقیقه پنجم پس از تولد
✓	۸۰	مایع آمنیونی مکنونومی
✓	۷۵	ناهنجاری عروقی جنین
✓	۷۰	دیسترس جنین حین زایمان
✓	۷۰	pH بدنانه یا اسیدوز متابولیک
✓	۷۰	نارسی نوزاد
✓	۷۰	ناهنجاری عروقی مادر
✓	۷۰	دکولمان (جدا شدن جفت)
✓	۶۵	تولد خارج از بیمارستان
✓	۶۵	مصرف مواد مخدر توسط مادر
✓	۶۵	سن بارداری
✓	۶۰	محدودیت رشد داخل رحمی
✓	۵۵	پره اکلامسی
×	۵۵	کلاپس بدنانه
×	۵۵	دیستوشی شانه
×	۵۵	پیچیدن بدنانه دور گردن جنین
×	۵۵	پارگی رحم
×	۵۵	ترومای مادر در دوران بارداری
×	۵۵	وزن نوزاد در بدو تولد
×	۵۰	دیابت بارداری
×	۵۰	خونریزی مادر
×	۵۰	مرگ جنینی / مرده‌زایی قبلی
×	۴۵	کیفیت مراقبت‌های دوران بارداری
×	۴۵	کوریوآمنیونیت (التهاب غشاهای جنینی)
×	۴۵	سن مادر
×	۴۵	فشارخون مادر
×	۴۰	پارگی طولانی مدت غشای جنینی
×	۴۰	دور سر نوزاد
×	۴۰	بارداری اول
×	۴۰	مصرف داروهای ضدافسردگی طی بارداری
×	۳۵	ناهنجاری جفت و بدنانه

×	۳۵	چاقی مادر
×	۳۰	تب حین زایمان
×	۳۰	هماتوم بندناف
×	۳۰	عفونت ادراری دوران بارداری
×	۳۰	تب حین زایمان
×	۲۰	زایمان به روش سزارین
×	۲۰	جهش فاکتور ۵ لیدن
×	۲۰	ناسازگاری Rh
×	۲۰	کم خونی مادر
×	۱۵	رابطه خویشاوندی والدین
×	۱۵	جنس نوزاد
×	۱۰	بیماری تیروئید مادر
×	۱۰	وضعیت اقتصادی اجتماعی مادر

۱۳ ستون (متغیرها یا ویژگی) به دست آمد. مجموعه داده‌ی هر کدام از ویژگی‌ها از نظر مقادیر از دست رفته بررسی شد. برای مدیریت داده‌های گم شده، ابتدا تمام ستون‌ها بررسی شدند تا تعداد مقادیر گم شده در هر ستون مشخص شود. نمونه‌هایی که ویژگی‌های مذکور را داشتند، مقدار یک و در سایر نمونه‌ها که ویژگی مذکور را نداشتند، مقدار Null اختصاص داده شد. در نهایت، توزیع مقادیر مفقود برای عوامل مؤثر در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی در جدول ۴ نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۳، متغیرهایی که بیش از ۶۰ درصد از افراد شرکت‌کننده (بیش از ۱۲ نفر) میزان اهمیت آن را «زیاد=چهار» یا «خیلی زیاد=پنج» انتخاب کرده بودند، به عنوان عوامل نهایی مؤثر برای مرحله مدل‌سازی لحاظ شدند.

• پیاده‌سازی و ارزیابی مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی

مرحله دوم، مجموعه‌ی داده به اندازه‌ی ۳۹۶۲ رکورد (تعداد نمونه‌ها) در

جدول ۴: توزیع مقادیر مفقود عوامل مؤثر در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی

متغیر	تعداد مقادیر مفقود شده	درصد (تقریبی)
جدا شدن جفت	۰	۰
محدودیت رشد داخل رحمی	۸	۰
تولد خارج از بیمارستان	۰	۰
سن بارداری	۸	۰
ناهنجاری عروقی مادر	۲۷	۱
مصرف مواد مخدر توسط مادر	۲۹	۱
pH بند ناف با اسیدوز متابولیک	۳۳۷۷	۸۴
ناهنجاری عروقی جنین	۰	۰
نمره آپگار دقیقه اول پس از تولد	۹	۰
نمره آپگار دقیقه پنجم پس از تولد	۹	۰
نارسی نوزاد	۰	۰
مایع آمنیونی مکنونی	۰	۰
دیسترس جنین حین زایمان	۰	۰

مجموعه‌ی داده انتخاب گردیدند. نتایج به دست آمده از شش الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک، شبکه بیز ساده، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، جنگل تصادفی و درخت تصمیم C5.0 با استفاده از چهار سنجه‌ی دقت، صحت، ویژگی و معیار F1 ارزیابی و مقایسه شدند. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد که الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی نتایج امیدبخشی را در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسی ایسکمی نشان دادند. جدول ۵ نتایج ارزیابی الگوریتم‌های مذکور با توجه به سنجه‌های ارزیابی صحت، دقت، ویژگی، مقدار F1 و سطح زیرمنحنی ROC را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۴، متغیر pH بند ناف یا اسیدوز متابولیک با ۳۳۷۷ مورد (۸۴ درصد) دارای مقادیر داده‌های مفقود شده بود. بنابراین، متغیر pH بند ناف یا اسیدوز متابولیک به دلیل ناقص بودن مقادیر، از مجموعه داده در مطالعه‌ی حاضر خارج شد. در مورد سایر متغیرها (از جمله محدودیت رشد داخل رحمی، سن بارداری، ناهنجاری عروقی مادر، مصرف مواد مخدر توسط مادر، نمره آپگار دقایق اول و پنجم) به ازای هر عامل مؤثر تعیین شده که گم‌شدگی داشتند، اقدام به حذف رکورد گردید. این فرایند به منظور دستیابی به یک مجموعه داده‌ی کامل و نهایی جهت پردازش و مدل‌سازی انجام شد.

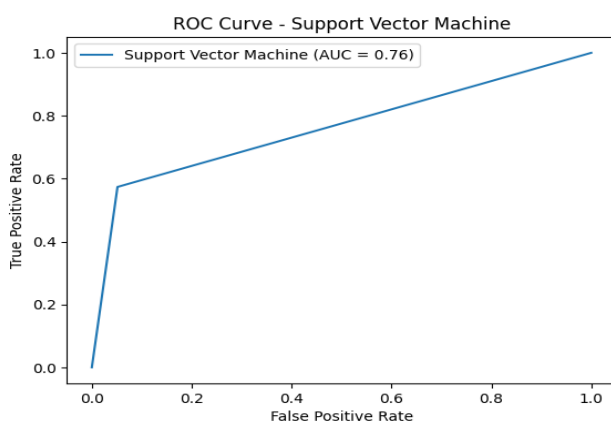
در ادامه شش الگوریتم داده‌کاوی برای ایجاد و ارزیابی مدل بر روی

جدول ۵: مقایسه نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده برای پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی

الگوریتم	دقت	صحت	ویژگی	سطح زیرمنحنی ROC	نمره F1
ماشین بردار پشتیبان	۰/۷۷	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۷۶	۰/۶۶
رگرسیون لجستیک	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۶۲
بیزین ساده	۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۵۸
شبکه عصبی پرسپترون چندلایه	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۶۸
جنگل تصادفی	۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۶۴
درخت تصمیم C5.0	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۷۴	۰/۵۹

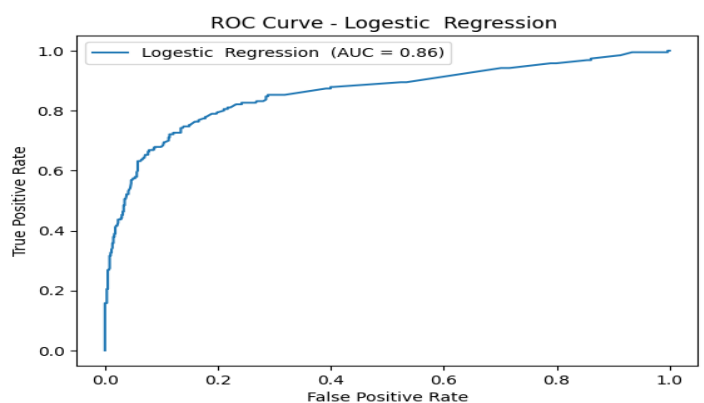
الگوریتم‌های منتخب نشان می‌دهد که الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با ۶۸ درصد، عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشته است. بعد از آن ماشین بردار پشتیبان با ۶۶ درصد عملکرد خوبی از خود نشان داده است. به منظور بررسی کارایی الگوریتم‌ها از ماتریس درهم‌ریختگی استفاده شد. نمودار ۱، مقایسه منحنی‌های ROC را در بین مدل‌های ایجاد شده جهت کارایی الگوریتم‌های اعمال شده در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی نشان می‌دهد.

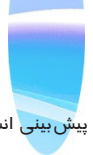
ماشین بردار پشتیبان



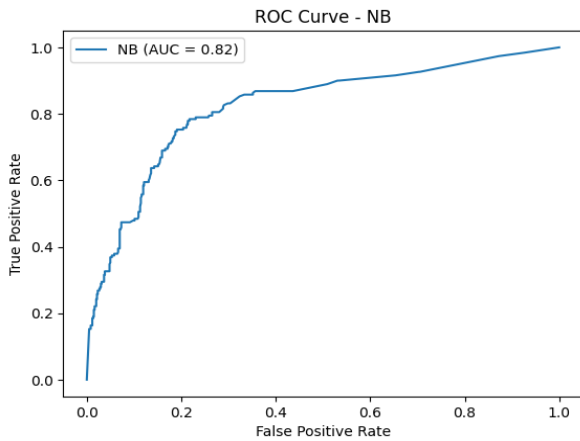
مطابق جدول ۵، مقایسه‌ی سنجه‌ی دقت بین الگوریتم‌های منتخب نشان می‌دهد که الگوریتم رگرسیون لجستیک با ۸۱ درصد دقت، عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها در فرایند پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک داشته است. همچنین الگوریتم رگرسیون لجستیک، با مقدار ۹۶ درصد بالاترین ویژگی در تشخیص درست افراد سالم و با میزان ۸۵ درصد صحت در تشخیص افتراق صحیح افراد بیمار و سالم را دارد. مقایسه‌ی سنجه‌ی مقدار F1 بین

رگرسیون لجستیک

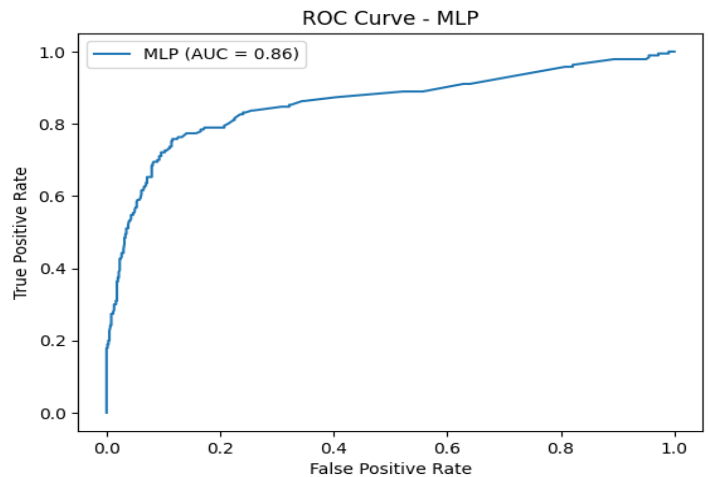




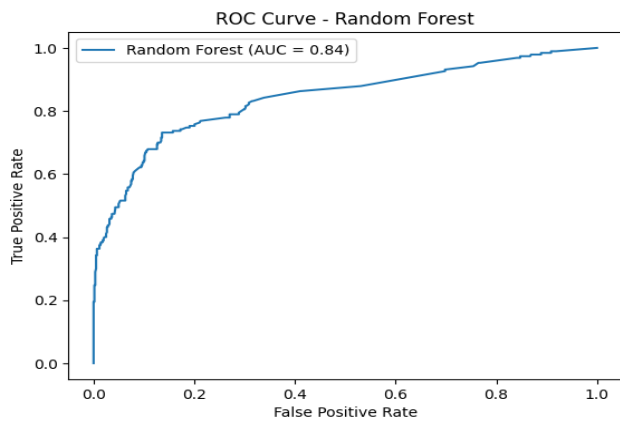
شبکه بیزین ساده



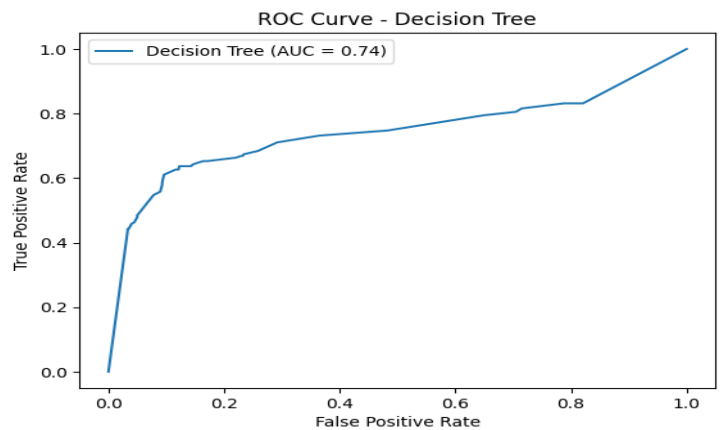
شبکه عصبی پرسپترون چند لایه



جنگل تصادفی



درخت تصمیم C5.0



نمودار ۱: منحنی‌های ROC به تفکیک مدل‌های ایجاد شده جهت پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی

به منظور تعیین میزان اهمیت متغیرهای مستقل در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی، از قابلیت انتخاب ویژگی الگوریتم‌ها استفاده شد. مقایسه اهمیت ویژگی‌های تأثیرگذار در مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی در جدول ۶ آمده است.

مطابق نمودار ۱، الگوریتم رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با ۸۶ درصد از عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار بود. بعد از آن، جنگل تصادفی با ۸۴ درصد عملکرد خوبی از خود نشان داده است.

جدول ۶: ترتیب اهمیت ویژگی‌ها به تفکیک الگوریتم‌های پیاده‌سازی شده در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی

الگوریتم	اهمیت بالا	اهمیت متوسط	اهمیت کم
رگرسیون لجستیک	نمره آپگار دقیقه اول نمره آپگار دقیقه پنجم سن بارداری دیسترس جنین حین زایمان مایع آمنیونی مکنونیومی	ناهنجاری عروقی جنین جدا شدن جفت مصرف مواد مخدر توسط مادر محدودیت رشد داخل رحمی ناهنجاری عروقی مادر	نارسی نوزاد تولد خارج از بیمارستان
شبکه عصبی پرسپترون چند لایه	نمره آپگار دقیقه اول نمره آپگار دقیقه پنجم	سن بارداری مایع آمنیونی مکنونیومی جدا شدن جفت ناهنجاری عروقی جنین	ناهنجاری عروقی مادر نارسی نوزاد مصرف مواد مخدر توسط مادر محدودیت رشد داخل رحمی دیسترس جنین حین زایمان تولد خارج از بیمارستان

جدا شدن جفت مصرف مواد مخدر توسط مادر ناهنجاری عروقی مادر تولد خارج از بیمارستان	مایع آمنیونی مکنونیومی دیسترس جنین حین زایمان محدودیت رشد داخل رحمی ناهنجاری عروقی جنین نارسی نوزاد	نمره آپگار دقیقه اول نمره آپگار دقیقه پنجم سن بارداری	جنگل تصادفی
ناهنجاری عروقی مادر محدودیت رشد داخل رحمی سن بارداری نارسی نوزاد تولد خارج از بیمارستان	ناهنجاری عروقی جنین جدا شدن جفت ناهنجاری عروقی مادر	نمره آپگار دقیقه اول نمره آپگار دقیقه پنجم مایع آمنیونی مکنونیومی دیسترس جنین حین زایمان	شبکه بیزین
جدا شدن جفت نارسی نوزاد دیسترس جنین حین زایمان محدودیت رشد داخل رحمی تولد خارج از بیمارستان ناهنجاری عروقی مادر مصرف مواد مخدر توسط مادر	نمره آپگار دقیقه پنجم سن بارداری مایع آمنیونی مکنونیومی ناهنجاری عروقی جنین	نمره آپگار دقیقه اول	ماشین بردار پشتیبان
جدا شدن جفت مصرف مواد مخدر توسط مادر ناهنجاری عروقی مادر تولد خارج از بیمارستان	نارسی نوزاد مایع آمنیونی مکنونیومی ناهنجاری عروقی جنین محدودیت رشد داخل رحمی دیسترس جنین حین زایمان	نمره آپگار دقیقه اول سن بارداری نمره آپگار دقیقه پنجم	درخت تصمیم C5.0

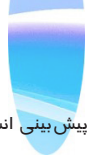
قبل از بارداری» و «حین زایمان» در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی تأثیرگذار بودند. براساس یافته‌های حاصل از مرحله اول پژوهش، ۴۵ عامل مؤثر در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی از طریق مرور متون شناسایی شد که به دنبال آن به نظرسنجی متخصصان بالینی رسید. از نظر متخصصان، ۱۳ عامل که بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی داشتند، به‌عنوان عوامل نهایی تأثیرگذار انتخاب شدند. این عوامل عبارتند از: «نمره آپگار دقایق اول و پنجم، مصرف مواد مخدر توسط مادر، سن بارداری، محدودیت رشد داخل رحمی، ناهنجاری عروقی مادر، ناهنجاری عروقی جنین، تولد خارج از بیمارستان، جدا شدن جفت، مایع آمنیونی مکنونیومی، دیسترس جنین حین زایمان، pH بندناف یا اسیدوز متابولیک، نارسی نوزاد».

یافته‌های مطالعه‌ی Mooney و همکاران (۱۱) نشان داد که قوی‌ترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک شامل وضعیت نوزاد در بدو تولد (نمره آپگار دقایق اول، پنجم و دهم)، دیسترس جنین حین زایمان، سن مادر، وزن هنگام تولد نوزاد و اولین مقدار اندازه‌گیری شده‌ی pH، لاکتات و کمبود قلیا بود. این در حالی است که فقط متغیرهای نمره آپگار در یک دقیقه و پنج دقیقه تولد و دیسترس جنین حین زایمان با مطالعه‌ی حاضر همخوانی دارد.

با توجه به جدول ۶، بالاترین میزان اهمیت ویژگی‌ها در مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک مربوط به نمره آپگار دقیقه اول پس از تولد و کمترین میزان اهمیت مربوط به تولد خارج از بیمارستان بود.

بحث

از آن‌جاکه مادر و نوزاد به‌عنوان گروه آسیب‌پذیر در جامعه محسوب می‌شوند، حفظ و ارتقای سطح سلامت آن‌ها به‌عنوان اساسی‌ترین رکن مراقبت بهداشتی و درمانی در هر کشور تلقی می‌شود. در این میان، صدمات مغزی مرتبط با انسفالوپاتی دوره نوزادی به‌علت ماهیت پیچیده‌ی بیماری، مرگ‌ومیر بالای آن و پیامدهای عصبی در کوتاه‌مدت و بلندمدت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۶ و ۱۴). طبق گزارش کارگروه مشترک بیماری‌های کودکان آمریکا درباره‌ی انسفالوپاتی بر شناسایی علت بنیادین ابتلای نوزادان به این بیماری در پیشگیری از اختلالات نورولوژیکی (مغزواعصاب) در نوزادان تأکید شده است. همچنین، این کارگروه مشترک بر ارزیابی کلی همه عوامل بالقوه‌ی دخیل (از قبیل سابقه پزشکی مادر و آسیب‌شناسی جفت جنین) در بیماری انسفالوپاتی نوزادی توصیه شده است. بنابراین، تشخیص و شناسایی عوامل خطرزا برای ارائه‌دهندگان مراقبت سلامت جهت درمان بهتر مبتلایان انسفالوپاتی نوزادی بسیار حیاتی است (۵). یافته‌های پژوهش نشان داد که عوامل دوران «قبل از زایمان و



مطالعه‌ی Raurale و همکاران (۲۷) نیز با استفاده از داده‌های نوار مغزی (Electroencephalography (EEG)) شدت آسیب انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک را پیش‌بینی کردند. همچنین، Ziv و همکاران (۲۸) نیز با استفاده از داده‌های تصویربرداری تانسور انتشار (Diffusion Tensor Imaging (DTI)) به پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی نوزادی پرداختند. این در حالی است که در پژوهش حاضر، متغیرهای EEG و DTI به‌عنوان عامل اثرگذار در پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی تعیین نشدند. در مطالعه‌ی O-Boyle و همکاران (۲۹) از متغیرهای مربوط به نمره‌های آپگار و گازهای خون به‌همراه متابولیت‌های آلانین بند ناف و اسید لاکتیک استفاده شد که به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در بهبود مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی شناخته شد. به جز نمره آپگار، سایر متغیرهای لحاظ شده در یافته‌های مطالعه‌ی مذکور با پژوهش حاضر همخوانی ندارد.

مطالعه‌ی Li و همکاران (۱۴) نیز نشان داد که دیابت بارداری با وزن بالا هنگام تولد در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک ارتباط دارد. نتایج مطالعه‌ی Negro و همکاران (۳۰) نشان داد که سطوح بالای محصولات پروتئینی اکسیداسیون پیشرفته (Advanced Oxidation Protein Products (AOPP)) و جنسیت مرد، به‌عنوان دو عامل تأثیرگذار در بروز بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی هستند. همچنین، یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که نوزادانی که در بدو تولد دچار خفگی شدید بودند، نسبت به نوزادانی با درجات خفیف‌تر خفگی، میزان بالاتری از استرس اکسیداتیو را تجربه کردند. در میان نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک که از طریق MRI ارزیابی شدند، نتایج تصویربرداری‌ها بیانگر آن بود که AOPP به‌طور قابل توجهی با شدت آسیب مغزی به‌ویژه در مردان مرتبط است. بر اساس تحلیل یافته‌ها، از بین شش متغیری که در مطالعه‌ی Li و همکاران (۱۴) و مطالعه‌ی Negro و همکاران (۳۰) ذکر شده بود، سه متغیر «دیابت بارداری، وزن هنگام تولد و جنس نوزاد» در مطالعه حاضر از نظر متخصصان امتیاز لازم را کسب نکردند و به‌عنوان عامل مؤثر بر بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی انتخاب نشدند. این در حالی است که مطالعه‌ی Minor و همکاران (۳۱) نقش دیابت بارداری را به‌عنوان یک متغیر تأثیرگذار در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک بررسی کرده است. همچنین، دو مطالعه‌ی Peebles و همکاران (۳۲) و Wang و همکاران (۳۳) بر وزن هنگام تولد به‌عنوان عامل اثرگذار در این بیماری تأکید

کرده‌اند. علاوه بر این، پژوهش Odd و همکاران (۳۴) نشان داده است که جنسیت نوزاد نیز می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی این اختلال داشته باشد. در برخی از مطالعات پیشین به ضرورت عوامل محیطی قبل از بارداری و قبل از زایمان برای پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی توجه شده است که این عوامل عبارتند از: مصرف مواد مخدر توسط مادر (۳۶ و ۳۵ و ۳۲) و داروهای ضدافسردگی طی بارداری (۳۷ و ۳۲)، رابطه‌ی خویشاوندی والدین (۳۸)، تولد خارج بیمارستان (۴۰ و ۳۹). در حالی که پژوهش حاضر از بین عوامل مذکور، تنها اهمیت «مصرف مواد مخدر و تولد خارج بیمارستانی» با نظر متخصصان تأیید شده و در نهایت وارد مرحله مدل‌سازی داده شدند. بصیری و همکاران (۴۱) مطالعه‌ی توصیفی مقطعی با هدف عوامل پیش‌بینی‌کننده‌ی مرگ در نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک پس از سرمادرمانی انجام دادند. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین شدت القا در نوزادان و نیاز به تهویه مکانیکی وجود داشت و ۵۵ درصد از نوزادان در زیر تهویه مکانیکی فوت کردند. مطالعه‌ی مذکور پیامدهای پس از مداخله‌ی سرمادرمانی بررسی شده است. این در حالی است که مرحله اول در پژوهش حاضر به تعیین عوامل مؤثر بر پیش‌بینی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی پرداخته شده است.

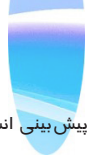
مدل‌سازی بر اساس مجموعه داده‌ی گردآوری شده و پیش‌پردازش شده با استفاده از شش الگوریتم داده‌کاوی شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی، انواع درخت تصمیم، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک و شبکه بیزین انجام شد. تمامی مدل‌ها با ۲۰ درصد از مجموعه داده‌ی مورد آزمون قرار گرفتند تا عملکرد آن‌ها ارزیابی شود. در پژوهش حاضر، الگوریتم رگرسیون لجستیک بهترین عملکرد پیش‌بینی را داشته است که سطح زیرمنحنی آن ۸۶ درصد، دقت ۸۱ درصد، صحت ۸۵ درصد و ویژگی ۹۶ درصد برآورد شده است. بیشترین میزان سنج‌های دقت و ویژگی به الگوریتم رگرسیون لجستیک اختصاص داشت و بیشترین میزان صحت مربوط به الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان و کمترین میزان سنج‌ها مربوط به الگوریتم بیزین ساده بود. همچنین، بیشترین میزان سطح زیرمنحنی ROC مربوط به الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی بود و کمترین میزان ROC، مربوط به الگوریتم درخت تصمیم بود. جدول ۷ به مقایسه‌ی مطالعات پیشین با پژوهش حاضر در الگوریتم‌های مورد استفاده و

را در پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی داشته است. به منظور ارزیابی مدل‌های طراحی شده، الگوریتم رگرسیون لجستیک در چندین پژوهش عملکرد بالایی از خود نشان داده است.

عملکرد آن‌ها پرداخته است. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، بررسی پژوهش‌های مشابه پیشین نشان داد که به ترتیب الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک، جنگل تصادفی، شبکه عصبی کانولوشن و ماشین بردار پشتیبان، بیشترین کاربرد

جدول ۷: مقایسه مطالعات مشابه با پژوهش حاضر در الگوریتم‌های مورد استفاده و عملکرد آن‌ها

نام نویسنده (منبع)	جامعه‌ی مورد مطالعه	متغیر مورد مطالعه	الگوریتم‌های داده‌کاوی به کار رفته	بهترین الگوریتم معرفی شده	عملکرد بهترین الگوریتم
Mooney و همکاران (۱۱)	بیماران مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان به دنبال خفگی در دوره پری‌ناتال	وضعیت نوزاد در بدو تولد (نمره آپگار در دقایق اول، پنجم و دهم)، دیسترس جنین حین زایمان، سن مادر، وزن هنگام تولد نوزاد و اولین مقدار اندازه‌گیری شده pH، لاکتات و کمبود قلیا	جنگل تصادفی	جنگل تصادفی	سطح زیرمنحنی برای پیش‌بینی شدت درجه انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک: ۹۴ درصد
Li و همکاران (۱۴)	بیماران مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان	داده‌های مادر و نوزاد	رگرسیون لجستیک	رگرسیون لجستیک	سطح زیرمنحنی: ۸۷ درصد
Vesoulis و همکاران (۲۴)	بهینه‌سازی پیش‌بینی پیامدهای حرکتی در نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک براساس تصویربرداری MRI	شدت انسفالوپاتی قبل از شروع سرمادرماتی، نمره آپگار در دقیقه دهم، بدترین pH خون شریانی بند ناف یا گاز خون نوزاد در عرض ۱ ساعت پس از تولد، دوز اریتروپویتین، هفته‌های کامل بارداری و وزن هنگام تولد	رگرسیون لجستیک و یادگیری عمیق مبتنی بر گرادیان تقویت‌شده	یادگیری عمیق	ROC: ۰/۷۵ صحت: ۸۵ درصد
Raurale و همکاران (۲۷)	بیماران مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان	داده‌های EEG	ترکیب توزیع فراوانی زمان با شبکه عصبی کانولوشن	شبکه عصبی کانولوشن	ضریب کاپا: ۵۴ درصد
Ziv و همکاران (۲۸)	بیماران مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان	داده‌های تصویربرداری تنسور انتشار	ماشین بردار پشتیبان	ماشین بردار پشتیبان	دقت آزمون: ۷۹ درصد
O-Boyle و همکاران (۲۹)	بیماران مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان	داده‌های بالینی معمول (نمره‌های آپگار و گازهای خون) به همراه متابولیت‌های آلانین بند ناف و اسید لاکتیک	رگرسیون لجستیک	رگرسیون لجستیک	سطح زیرمنحنی: ۹۲ درصد
Negro و همکاران (۳۰)	بیماران مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادان	داده‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی، جنس نوزاد و نشانگرهای زیستی استرس اکسیداتیو	رگرسیون لجستیک	رگرسیون لجستیک	مقدار نمره تصویربرداری تشدید مغناطیسی معادل ۴/۵ (حساسیت و ویژگی مدل پیش‌بینی به ترتیب ۱۰۰ و ۹۷/۷۸ درصد)
Murray و همکاران (۴۲)	شناسایی نوزادان در معرض خطر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک بلافاصله بعد از تولد	داده‌های بالینی (نمره آپگار در دقیقه اول یا دقیقه پنجم، pH، پس از تولد، BD و لاکتات)	رگرسیون لجستیک و جنگل تصادفی	جنگل تصادفی	حساسیت آزمون: ۸۶/۶ درصد



در مطالعه‌ی Mooney و همکاران (۱۱) با هدف ایجاد مدل پیش‌بینی وقوع احتمالی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک با ۴۰۹ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی شدید، متوسط و خفیف و مبتلا به خفگی دوره پری‌ناتال انجام شد که از الگوریتم جنگل تصادفی در نرم‌افزار R استفاده شد. مطالعه‌ی O-Boyle و همکاران (۲۹) با هدف میزان دقت تشخیص افراد مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک از افراد سالم با استفاده از الگوریتم‌های رگرسیون لجستیک و جنگل تصادفی انجام شد که از ادغام داده‌های متابولیت، بالینی و ترکیبی (هر دو مجموعه‌ی داده‌ی بالینی و متابولیت) استفاده شد. در پژوهش حاضر اگر چه از الگوریتم‌های مذکور استفاده شده، اما هدف اصلی این پژوهش، ایجاد مدلی برای پیش‌بینی نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک براساس چندمتغیر بالینی مادر و نوزاد موجود در مجموعه داده‌ی برگرفته از سامانه‌ی ایمان بوده است. خروجی این مدل می‌تواند به پزشکان در امر تشخیص و مداخله‌ی زود هنگام بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی یاری نماید.

مطالعه‌ی Raurale و همکاران (۲۷) با هدف ایجاد یک سیستم خودکار برای طبقه‌بندی شدت آسیب انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک در نوزادان انجام شد. این سیستم با بهره‌گیری از داده‌های EEG و ترکیب توزیع فراوانی زمان با شبکه عصبی کانولوشن توسعه یافته است. از آنجا که انتخاب الگوریتم‌ها در فرایند داده‌کاوی به نوع ویژگی، مقدار و ابعاد داده بستگی دارد، این امر تأثیر قابل توجهی در عملکرد و دقت خروجی مدل دارد. این در حالی است که در پژوهش حاضر از الگوریتم شبکه عصبی کانولوشن به دلیل دسترسی نداشتن به داده‌های EEG استفاده نشده است.

مطالعه‌ی Li و همکاران (۱۴) با هدف ایجاد مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی نوزادی براساس داده‌های برگرفته از EHR با ۱۰۴ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی و ۳۱۰۵۴ نوزاد سالم (بدون انسفالوپاتی) و متغیرهای مادر و نوزاد با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام شد. همچنین، Negro و همکاران (۳۰) از داده‌های بالینی به همراه نشانگرهای زیستی جدید از جمله استرس اکسیداتیو برای شناسایی زود هنگام نوزادان در معرض خطر بالای انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک از رگرسیون لجستیک استفاده کردند. مطالعه‌ی Tarvonon و همکاران (۴۳) نشان داد که رویدادهای پیش از تولد، مانند جدا شدن جفت یا پارگی رحم، تقریباً یک سوم موارد انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک را تشکیل می‌دهند. در حالی که، نشانگرهای زیستی، مانند اریتروپوئیتین در کنار یافته‌های بافت‌شناسی جفت،

پتانسیل ارزیابی زمان شروع بیماری را نشان می‌دهند. مطالعه‌ی Ziv و همکاران (۲۸) با استفاده از داده‌های تصویربرداری ۲۴ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی نوزادی، جهت پیش‌بینی پیامد عصب‌شناختی بیماری انجام شد که در مطالعه‌ی مذکور از الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان استفاده شد. در پژوهش حاضر مدل‌سازی براساس داده‌های موجود در سامانه‌ی ایمان انجام شد. نمونه‌ی مطالعه شامل ۴۰۰۰ نوزاد بوده که ۳۰۰۰ نوزاد سالم و ۱۰۰۰ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک را در بر می‌گیرد. بررسی این مجموعه داده‌ی گسترده، نقطه قوت این پژوهش محسوب می‌شود، زیرا امکان تحلیل دقیق‌تر و ارزیابی جامع‌تری را فراهم ساخته است. علاوه بر الگوریتم‌های ذکر شده در پژوهش حاضر، سایر الگوریتم‌ها نظیر شبکه بیزین، شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم و جنگل تصادفی نیز به کار گرفته شدند که نتایج حاصل از مدل‌های مختلف، تفاوت‌هایی را در عملکرد مدل پیش‌بینی نشان داد. مطالعه‌ی Murray و همکاران (۴۲) با هدف شناسایی نوزادان در معرض خطر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک بلافاصله پس از تولد با استفاده از دو الگوریتم رگرسیون لجستیک و جنگل تصادفی انجام شد. داده‌های ۱۰۸۱ نوزاد برگرفته از پرونده الکترونیک سلامت (Electronic Health Record (EHR)) جمع‌آوری شد که شامل ۷۶ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی (۳۷ خفیف، ۲۹ متوسط و ۱۰ شدید) و ۱۰۰۵ نوزاد سالم بود. نتایج نشان داد که حساسیت الگوریتم جنگل تصادفی نسبت به رگرسیون لجستیک بهتر بوده است (۸۶/۶ درصد در مقابل ۸۴/۲ درصد). از این رو، الگوریتم جنگل تصادفی توانست ۷۸/۴ درصد از موارد انسفالوپاتی از نوع خفیف، ۹۳ درصد از نوع متوسط و ۱۰۰ درصد از نوع شدید را شناسایی کند. این در حالی است که الگوریتم رگرسیون لجستیک در پژوهش حاضر نسبت به جنگل تصادفی تا حدی عملکرد بهتری داشته است. پیشنهاد می‌شود که مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی بر اساس شدت و پیامد این بیماری در آینده ایجاد شود. در این راستا می‌توان به مطالعه‌ی Vesoulis و همکاران (۲۴) اشاره نمود که با هدف بهینه‌سازی پیش‌بینی پیامدهای حرکتی در نوزادان مبتلا به انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک براساس تصویربرداری MRI انجام شد. نمونه پژوهش شامل ۱۱۷ نوزاد مبتلا به انسفالوپاتی از نوع متوسط تا شدید بود که سرمدارمانی شدند. متغیرهای بالینی عبارتند از: شدت انسفالوپاتی قبل از شروع سرمدارمانی، نمره آپگار در دقیقه دهم، بدترین pH خون شریانی بند ناف یا گاز خون نوزاد در

عرض ۱ ساعت پس از تولد، دوز اریتروپوئین، هفته‌های کامل بارداری و وزن هنگام تولد. همه نوزادان بین ۱۲ تا ۲۴ ماهگی با استفاده از مقیاس حرکتی نوزاد آلبرتا ((Alberta Infant Motor Scale (AIMS)) یا مقیاس‌های رشد نوزاد بیللی ((Bayley Scales of Infant Development))، مورد آزمایش رشد قرار گرفتند. مدل پیش‌بینی با استفاده از رگرسیون لجستیک و یادگیری عمیق مبتنی بر گرادینان تقویت‌شده برای ارزیابی اهمیت ویژگی‌های بالینی و تصویری ایجاد شد. مجموعه‌ی داده‌ها به نسبت ۸۰ به ۲۰ برای آموزش و آزمایش تقسیم شد و انتخاب ویژگی‌ها برای حذف متغیرهای کم‌اهمیت انجام گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد مدل یادگیری عمیق، برتری قابل توجهی نسبت به مدل رگرسیون لجستیک داشت (مقدار ROC ۰/۷۵ در مقابل ۰/۶۹ و صحت ۸۵ درصد در مقابل ۷۹ درصد).

جنبه نوآوری پژوهش حاضر از این جهت است که:

- در بسیاری از مطالعات پیشین، متغیرها صرفاً از داده‌های موجود استخراج شده‌اند. اما در پژوهش حاضر، ترکیب مرور متون با نظرسنجی از متخصصان برای انتخاب ۱۴ متغیر کلیدی، رویکردی بر اجماع تخصصی بود که در افزایش اعتبار مدل، تأثیرگذار است.

- استفاده از مجموعه داده‌های واقعی و بومی از سامانه ایمان با حجم بالای نمونه پژوهش (۴۰۰۰ نوزاد)، امکان طراحی مدلی با تعمیم‌پذیری بالا را فراهم کرده است که جزو نقطه قوت پژوهش پیش‌روست.

- مطالعات محدودی از ترکیب چند الگوریتم داده‌کاوی برای مقایسه‌ی عملکرد مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی استفاده شده است. در پژوهش حاضر، شش الگوریتم مختلف داده‌کاوی به صورت همزمان بررسی و مقایسه شده‌اند. این تحلیل مقایسه‌ای، نه تنها عملکرد الگوریتم‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد، که بیانگر این است که از بین مدل‌های ایجاد شده، الگوریتم رگرسیون لجستیک با دقت و ویژگی بالا، گزینه‌ای مناسب برای پیش‌بینی این بیماری محسوب می‌شود.

- خروجی مدل‌های ایجاد شده با استفاده از متغیرهای بالینی و داده‌های قابل دسترس (مانند نمره آپگار، عوارض زایمان و سابقه‌ی پزشکی مادر) انجام شده که در مراکز درمانی قابل تعمیم می‌باشد که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های بالینی مؤثر باشد؛ از طرف دیگر محققان آینده از بینش‌های ارزشمندی در مورد مجموعه داده‌ها و پیامدهای بالینی بهره‌مند خواهند شد.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کیفیت پایین داده‌های ثبت شده در سامانه ایمان یکی از محدودیت‌های این پژوهش بود. برای رفع این مشکل در مواردی که تعداد مقادیر گمشده در مجموعه داده یا ویژگی‌های ناقص بیش از ۹۰ درصد بود، نسبت به حذف آن رکورد (سطرها) یا ویژگی (ستون‌ها) اقدام شد.

- در این پژوهش از شش الگوریتم مختلف برای پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی بر اساس ویژگی‌های استخراج شده از سامانه ایمان استفاده شد. با وجود این به دلیل دسترسی نداشتن به داده‌های تصویربرداری نظیر MRI، CT اسکن و سیگنال‌های EEG، مدل‌های ایجاد شده در پژوهش حاضر توانستند الگوهای موجود در داده‌های غیرتصویری را تحلیل و پیش‌بینی کنند. عدم دسترسی به داده‌های تصویربرداری ممکن است بر دقت پیش‌بینی مدل تأثیر گذاشته باشد؛ زیرا برخی ویژگی‌های مرتبط با ساختار مغزی و فعالیت‌های فیزیولوژیکی بر اساس متغیرهای تصاویر MRI و EEG قابل استخراج هستند. برای افزایش تعمیم‌پذیری نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری با بهره‌گیری از پایگاه‌های داده کامل‌تر بر روی متغیرهای تصویربرداری و سیگنال‌های مغزی نیز انجام شود. علاوه بر این، به کارگیری الگوریتم‌های ترکیبی یادگیری عمیق، به ویژه شبکه‌های عصبی کانولوشن، برای استخراج تحلیل تصاویر از فعالیت‌های مغزی و تغییرات سیگنال‌ها می‌تواند نقش بسزایی در بهینه‌سازی مدل پیش‌بینی و ارتقای دقت تشخیص انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی ایفا نماید.

- در برخی از مطالعات پیشین، بر متغیرهایی نظیر داروهای ضد افسردگی طی بارداری، رابطه‌ی خویشاوندی والدین و pH بند ناف به عنوان عوامل مؤثر انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی تأکید شدند. اما عوامل مذکور در مطالعه‌ی حاضر پس از نظرسنجی به تأیید متخصصان نرسید و از مطالعه حذف شد.

- یکی از محدودیت‌های این مطالعه در مرحله اول، تمرکز جامعه‌ی پژوهش بر گروه‌های تخصصی بالینی شامل متخصصان طب مادر و جنین، نوزادان، اطفال و مغز و اعصاب کودکان بوده است. این انتخاب با توجه به ماهیت داده‌های مورد بررسی (شامل شاخص‌های فیزیولوژیک، آزمایشگاهی و بالینی مانند مایع آمنیونی مکنونیومی، نمره آپگار، دیسترس جنینی، pH بند ناف) بود؛ زیرا تحلیل این متغیرها نیازمند دانش تخصصی و تجربه‌ی بالینی مستقیم است. پیشنهاد می‌شود تا در

پژوهش‌های آینده، با بهره‌گیری از رویکرد نمونه‌گیری مبتنی بر تنوع حداکثری، دامنه مشارکت به‌گونه‌ای گسترش یابد که تمامی گروه‌های مرتبط با سلامت مادر و نوزاد (اعم از ماما، پرستاران با تخصص نوزادان) در نظر سنجی وارد شوند. چنین رویکردی نه تنها موجب تقویت اعتبار برون‌داد علمی خواهد شد، که زمینه‌ساز طراحی مدل‌های پیش‌بینی چندبُعدی و کاربردی‌تر در محیط‌های بالینی می‌شود.

نتیجه‌گیری

فرایند پیش‌بینی بیماری‌ها در حوزه‌ی پزشکی می‌تواند به‌عنوان فرایند مهمی در تصمیم‌گیری به پزشکان و سایر ارایه‌دهندگان مراقبت یاری نماید. در مطالعه‌ی حاضر، مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک نوزادی با استفاده از شش الگوریتم داده‌کاوی ایجاد شد. نتایج حاصل از مقایسه عملکرد الگوریتم‌های داده‌کاوی نشان داد که الگوریتم رگرسیون لجستیک با شش ویژگی از عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها برخوردار بود. انتظار می‌رود که خروجی این پژوهش بتواند گام مهمی در راستای تشخیص زودهنگام بیماری و تسریع مداخلات درمانی بردارد. همچنین، به نظر می‌رسد که نتایج پژوهش بتواند در کاهش پیامدهای منفی ناشی از بیماری، جلوگیری از بستری مجدد و در نتیجه کاهش هزینه‌های اضافی و افزایش ایمنی بیماران مؤثر باشد. می‌توان

از این مدل‌ها به‌عنوان دستیار پزشکان جهت تصمیم‌گیری برای پیش‌بینی وقوع احتمالی بیماری انسفالوپاتی هیپوکسیک-ایسکمیک استفاده نمود. این رویکرد نه تنها تأثیر قابل توجهی در پیشگیری از این بیماری خواهد داشت که با اقدامات به‌موقع می‌تواند خطر بروز انسفالوپاتی نوزادی را کاهش داده و شدت پیامدهای منفی ناشی از آن همچون فلج مغزی و صرع را به حداقل رساند. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده با استفاده از ترکیب ویژگی‌های تصویربرداری و نشانگرهای زیستی و همچنین توجه به شدت بیماری انسفالوپاتی، مدل پیش‌بینی را بهینه‌تر کرد. علاوه بر این، توصیه می‌شود که در مطالعات بعدی مدل پیش‌بینی برای پیامدهای بیماری بعد از دوران سرمدارمانی با ترکیب ویژگی‌های EEG و MRI انجام شود تا یک مدل عینی و بسیار قابل اعتماد برای پیش‌بینی مرگ و ناتوانی‌های طولانی مدت ارایه گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان «ارایه مدل پیش‌بینی انسفالوپاتی هیپوکسی-ایسکمیک نوزادی» مصوب دانشگاه علوم پزشکی ایران با کد اخلاق به‌شماره IR.IUMS.REC.1400.855 است. از تمام افرادی که در انجام این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Russ JB, Simmons R & Glass HC. Neonatal encephalopathy: Beyond hypoxic-ischemic encephalopathy. *Neoreviews* 2021; 22(3): e148-e62.
2. McIntyre S, Badawi N, Blair E & Nelson KB. Does aetiology of neonatal encephalopathy and hypoxic-ischaemic encephalopathy influence the outcome of treatment? *Developmental Medicine and Child Neurology* 2015; 57(S 3): 2-7.
3. Glass HC. Hypoxic-ischemic encephalopathy and other neonatal encephalopathies. *Continuum* 2018; 24(1): 57-71.
4. Shaligram R, Garud BP, Malwade S, Mane SV, Dua J, Bahal M, et al. Risk factors and predictors of outcomes in hypoxic-ischemic encephalopathy in neonates. *Cureus* 2024; 16(11): 1-10.
5. Gao C, Yan C, Osmundson S, Malin BA & Chen Y. A deep learning approach to predict neonatal encephalopathy from electronic health records. Xi'an, China: IEEE, International Conference on Healthcare Informatics (ICHI), 2019.
6. Chen X, Chen H & Jiang D. Maternal and fetal risk factors for neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy: A retrospective study. *International Journal of General Medicine* 2023; 16(1): 537-45.
7. WHO. Countdown to 2015: Taking stock of maternal, newborn and child survival: Decade report (2000-2010). Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241599573>. 2010.

8. Apio G, Mbalinda SN, Alunyo JP, Okibure A, Makoko BT, Mc-Voy M, et al. Birth asphyxia outcomes and associated factors among newborns admitted to a tertiary hospital in Eastern Uganda: A prospective cohort study. *BMC Pregnancy and Childbirth* 2025; 25(487): 1-13.
9. Malan R, Van-Der-Linde J, Kritzinger A, Coetzee M, Graham MA & Kruger E. South african neonates with mild and moderate hypoxic-ischaemic encephalopathy. *South African Journal of Child Health* 2022; 16(3): 134-8.
10. Shabani N & Proverbio AM. Neonatal hypoxia: impacts on the developing mind and brain. *Frontiers in Cognition* 2025; 4(1): 1-6.
11. Mooney C, O-Boyle D, Finder M, Hallberg B, Walsh BH, Henshall DC, et al. Predictive modelling of hypoxic ischaemic encephalopathy risk following perinatal asphyxia. *Heliyon* 2021;7(7): 1-19.
12. Chakkarapani E, De-Vries LS, Ferriero DM & Gunn AJ. Neonatal encephalopathy and hypoxic-ischemic encephalopathy: The state of the art. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41390-025-03986-2.pdf>. 2025.
13. Bakheet D, Alotaibi N, Konn D, Vollmer B & Maharatna K. Prediction of cerebral palsy in newborns with hypoxic-ischemic encephalopathy using multivariate EEG analysis and machine learning. *IEEE Access* 2021; 9(9): 137833-46.
14. Li T, Gao C, Yan C, Osmundson S, Malin BA & Chen Y. Predicting neonatal encephalopathy from maternal data in electronic medical records. *AMIA Summits on Translational Science Proceedings* 2018; 2017(1): 359-68.
15. Wang P, Li Y & Reddy CK. Machine learning for survival analysis: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 2019; 51(6): 1-39.
16. Radakovich N, Cortese M & Nazha A. Acute myeloid leukemia and artificial intelligence, algorithms and new scores. *Best Practice and Research Clinical Haematology* 2020; 33(3): 1-12.
17. Sharifi A & Alizadeh K. A novel technique based on principal component analysis and multi-layer perceptron with genetic algorithm optimization for diagnosis of lung cancer. *Razi Journal of Medical Sciences* 2019; 26(10): 48-56[Article in Persian].
18. Ricciardi C, Amboni M, De-Santis C, Improta G, Volpe G, Iuppariello L, et al. Using gait analysis' parameters to classify Parkinsonism: A data mining approach. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2019; 180(1): 105033.
19. Cıgşar B & Unal D. Comparison of data mining classification algorithms determining the default risk. *Scientific Programming* 2019; 2019(12): 1-8.
20. Bagheri F, Alizadeh-Majd H, Mehrbakhsh Z & Ziaratban M. Use of data mining algorithms in assessing the affecting factors on predicting the health status of newborns. *Jorjani Biomedicine Journal* 2014; 2(2): 59-68[Article in Persian].
21. Safdari R, Kadivar M, Langarizadeh M, Farzaneh-Nejad AR & Kermani F. Developing a fuzzy expert system to predict the risk of neonatal death. *Acta Informatica Medica* 2016; 24(1): 34-7.
22. Rajati F, Rezaei M & Fakhri N. Comparative prediction of premature infants using decision tree models and artificial neural networks, Tehran: 12th Student Scientific Conference on Innovation in Health Sciences, 2019.
23. Leith WM, Zeegers MP & Freeman MD. A predictive model for perinatal hypoxic ischemic encephalopathy using linked maternal and neonatal hospital data. *Annals of Epidemiology* 2024; 89(1): 29-36.
24. Vesoulis ZA, Trivedi SB, Morris HF, Mc-Kinstry RC, Li Y, Mathur AM, et al. Deep learning to optimize magnetic resonance imaging prediction of motor outcomes after hypoxic-ischemic encephalopathy. *Pediatric Neurology* 2023; 149(1): 26-31.

25. El-Shahed AI, Branson HM, Chacko A, Terumalay S, Zheng X, Pang EW, et al. Predictive model of neurodevelopmental outcome in neonatal hypoxic ischemic encephalopathy. *Early Human Development* 2025; 201(1): 106189.
26. Hatami G, Motamed N & Darvishi Z. Outcomes and survival of neonates with hypoxic ischemic encephalopathy (HIE) in a university hospital in bushehr port 1999-2006. *Iranian South Medical Journal* 2006; 9(1): 36-44[Article in Persian].
27. Raurale SA, Boylan GB, Mathieson SR, Marnane WP, Lightbody G & O-Toole JM. Grading hypoxic-ischemic encephalopathy in neonatal EEG with convolutional neural networks and quadratic time–frequency distributions. *Journal of Neural Engineering* 2021; 18(4): 046007.
28. Ziv E, Tymofiyeva O, Ferriero DM, Barkovich AJ, Hess CP & Xu D. A machine learning approach to automated structural network analysis: Application to neonatal encephalopathy. *PloS One* 2013; 8(11): 1-11.
29. O-Boyle DS, Dunn WB, O-Neill D, Kirwan JA, Broadhurst DI, Hallberg B, et al. Improvement in the prediction of neonatal hypoxic-ischemic encephalopathy with the integration of umbilical cord metabolites and current clinical makers. *The Journal of Pediatrics* 2021; 229(1): 175-81, e1.
30. Negro S, Benders MJNL, Tataranno ML, Coviello C, DE-Vries LS, Van-Bel F, et al. Early prediction of hypoxic-ischemic brain injury by a new panel of biomarkers in a population of term newborns. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2018; 2018(7608108): 1-10.
31. Minor KC, Liu J, El-Sayed YY, Druzin ML, Profit J, Hintz S, et al. Hypoxic ischemic encephalopathy: Do peripartum risk factors account for observed changes in incidence? *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 2022; 226(1): S210.
32. Peebles PJ, Duello TM, Eickhoff JC & Mc-Adams RM. Antenatal and intrapartum risk factors for neonatal hypoxic ischemic encephalopathy. *Journal of Perinatology* 2020; 40(1): 63-9.
33. Wang Y, Luo S, Wang K, Hou Y, Yan H & Zhang Y. Maternal and neonatal exposure to risk factors for neonates with moderate or severe hypoxic ischemic encephalopathy: A cross-sectional study. *Italian Journal of Pediatrics* 2022; 48(188): 1-8.
34. Odd D, Heep A, Luyt K & Draycott T. Hypoxic-ischemic brain injury: Planned delivery before intrapartum events. *Journal of Neonatal-Perinatal Medicine* 2017; 10(4): 347-53.
35. Chan YL, Saad S, Machaalani R, Oliver BG, Vissel B, Pollock C, et al. Maternal cigarette smoke exposure worsens neurological outcomes in adolescent offspring with hypoxic-ischemic injury. *Frontiers in Molecular Neuroscience* 2017; 10(306): 1-16.
36. Li Y, Zhang Y, Walayat A, Fu Y, Liu B, Zhang L, et al. The regulatory role of H19/miR-181a/ATG5 signaling in perinatal nicotine exposure-induced development of neonatal brain hypoxic-ischemic sensitive phenotype. *International Journal of Molecular Sciences* 2022; 23(13): 1-15.
37. Abimana MC, Karangwa E, Hakizimana I, Kirk CM, Beck K, Miller AC, et al. Assessing factors associated with poor maternal mental health among mothers of children born small and sick at 24–47 months in rural Rwanda. *BMC Pregnancy and Childbirth* 2020; 20(643): 1-12.
38. Abdel-Aziz NHR, Abdel-Azeem HG, Monazea EMM & Sherif T. Impact of thrombophilia on the risk of hypoxic–ischemic encephalopathy in term neonates. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis* 2017; 23(3): 266-73.
39. Wasden SW, Chasen ST, Perlman JM, Illuzzi JL, Chervenak FA, Grunebaum A, et al. Planned home birth and the association with neonatal hypoxic ischemic encephalopathy. *Journal of Perinatal Medicine* 2017; 45(9): 1055-60.

40. Buchanan C, Kuo S, Minton L, Lee MJ, Choi SY & Soon R. Neonatal hypoxic ischemic encephalopathy and planned home birth. *Journal of Midwifery and Women's Health* 2022; 67(1): 69-74.
41. Basiri B, Sabzehei MK & Sabahi MM. Predictive factors of death in neonates with hypoxic-ischemic encephalopathy receiving selective head cooling. *Clinical and Experimental Pediatrics* 2021; 64(4): 180-7.
42. Murray AL, O-Boyle DS, Walsh BH & Murray DM. Validation of a machine learning algorithm for identifying infants at risk of hypoxic ischaemic encephalopathy in a large unseen data set. *Archives of Disease in Childhood, Fetal and Neonatal Edition* 2025; 110(3): 279-84.
43. Tarvonen M, Jernman R, Stefanovic V, Tuppurainen V, Karikoski R, Haataja L, et al. Hypoxic-ischemic encephalopathy following intrapartum asphyxia: Is it avoidable? *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 2025; 233(5): 475.