



## مروری بر استفاده از یادگیری عمیق در مهندسی بیهوشی و کنترل کردن دُز بیهوشی در اتاق‌های عمل

محمد وندجلیلی<sup>۱</sup>

۱- کارشناس ارشد، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات دانشگاه مراغه، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

*m.vandjalili@maragheh.ac.ir*

### چکیده

بیهوشی را می‌توان به عنوان پیچیده‌ترین و سخت‌ترین کارهای مرتبط به اتاق‌های عمل و عملیات جراحی می‌باشد. بیهوشی را می‌توان تحریک بدن بیمار بر پایه مختل نمودن میزان هوشیاری آن دانست که عملاً سفری مرز مرگ است. این کار خطیر بر عهده‌ی متخصصین بیهوشی بوده و نیازمند داشتن تخصصی کامل و تجربه‌ای جامع از داروها و دزهای مختلف است. عدم کنترل و بهینه‌سازی بیهوشی معمولاً سبب جراحی‌های همراه با درد، کمای طولانی و حتی مرگ بیمار می‌شود. در این راستا متخصصین مهندسی بیهوشی سعی نموده‌اند تا بکارگیری فناوری‌های نوین در صدد کنترل میزان دز و جلوگیری از مشکلات بیهوشی بیماران در طی عملیات جراحی نماید. یکی از این فناوری‌های نوین بکارگیری هوش مصنوعی و یادگیری عمیق است. یادگیری ماشین یا عمیق با استفاده از روندهای ارزیابی و طبقه‌بندی بهینه با دقت بالا اقدام به کنترل میزان دز داروهای بیهوشی نموده و میزان مرگ را ناشی از این مسئله بسیار کاهش داده است. چنین تکنولوژی نوینی بسته به شرایط کنونی بیمارستان‌ها جدید بوده و با چالش‌های قابل توجهی همراه است. در این مطالعه به مرور آن پرداخته گردیده است.

**کلمات کلیدی:** هوش مصنوعی، یادگیری عمیق، مهندسی بیهوشی، فناوری نوین.

### ۱- مقدمه

فرآیند بیهوشی، کار دشوار و پیچیده‌ای بوده و بیهوشی در واقع سفری بشمار می‌آید که تا مرز مرگ پیش می‌رود و این وظیفه خطیر بر عهده‌ی متخصصین بیهوشی است که مرزهای بین مرگ و زندگی را بشناسند و بیمار را بعد از پایان جراحی، به زندگی قبلی بازگردانند. برای رسیدن به این اهداف، متخصصین بیهوشی مجموعه‌ای از داروها را به کار می‌برند تا فرآیند هوشیاری بیمار را مختل، عملکرد تنفس و قلب بیمار را تنظیم و از حرکات عضلات و جلوگیری نمایند. استفاده از داروهای هوشبر با دوزهای مشخص، مسکن‌های تسکین درد و شل کننده‌های عضلانی، همگی لازمه‌ی یک بیهوشی مناسب می‌باشند. چه بسا بیمار در حین بیهوشی به خواب رود، اما به دلیل عدم سرکوب مناسب درد و درک حسی، بیمار در حین عمل درد داشته باشد. یکی از موضوعاتی که در عمل اهمیت پیدا می‌کند، به کار بردن این داروها به اندازه‌ای است که عدم هوشیاری و عدم پاسخ به تحریکات جراحی را ایجاد کند و در عین حال از مسمومیت دارویی بیمار جلوگیری نماید. با وجود محدودیت در درک مکانیزم بیهوشی، اغلب محققین بر سر این موضوع که بیهوشی حداقل از سه جزء عملکردی تشکیل شده است، اتفاق نظر دارند. این سه جزء شامل خواب مصنوعی، بی‌دردی و بی‌حرکتی می‌شوند (Lee et al., 2018). به عبارت دیگر، فرآیند بیهوشی به عنوان یکی از ارکان اساسی در انجام عمل جراحی محسوب می‌گردد. این فرآیند را می‌توان به صورت نبود پاسخ و یا عکس-



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

العمل به تحریکات ناخوشایند تعریف نمود. سه رکن اساسی عدم هوشیاری (عمق بیهوشی)، عدم احساس درد و شل شدن عضلات می‌باشد. در واقع هدف سیستم کنترل بیهوشی، تعیین نرخ داروی تزریقی به بیمار، به منظور دستیابی به عمق مناسبی از بیهوشی است (Nguyen-Ky et al., 2011). امروزه از داروهای بیهوشی متفاوتی به دو صورت گازهای استنشاقی و تزریقی درون رگی استفاده می‌شود که می‌توان به چند نمونه شامل هالوتان و ایزوفلوران جزء گازهای استنشاقی و پروپوفول داروی تزریقی درون رگی می‌باشند. روش‌های مختلفی برای سنجش عمق بیهوشی شامل اندازه‌گیری فشار متوسط خون شریانی (MAP)، اندازه‌گیری فشار سیستولی (SAP)، استفاده از سیگنال‌های ماهیچه‌ای و سیگنال‌های مغزی یا الکتروانسفالوگرام (EMG) وجود دارد؛ اشاره نمود (Wingert et al., 2021).

تاکنون تلاش‌های متعددی برای مدل‌سازی فرآیند بیهوشی انجام گرفته است. که یکی از انگیزه‌های آن می‌تواند تلاش برای اتوماسیون فرآیند بیهوشی باشد. برای طراحی کنترلر، بسیار مطلوب است که از یک توصیف مدل مناسب استفاده شود. اگر بخواهیم در ادبیات بیهوشی صحبت کنیم وقتی از مدل‌سازی حرفی زده می‌شود در حقیقت به دنبال توصیفی برای رابطه مقدار دارو با اثر آن روی بدن بیمار هستیم. در گذشته، به صورت تجربی و حلقه باز به بیمار داروی بیهوشی تزریق می‌کردند و با ارزیابی‌های کلینیکی و بالینی، عمق بیهوشی را تشخیص می‌دادند. اما امروزه با بکار بردن کنترل حلقه بسته، کیفیت تزریق دارو بهبود یافته است و از وابستگی‌های زیاد به مهارت‌ها و تجارب متخصص بیهوشی کاسته شده است و این امر، دیگر به صورت اتوماتیک و خودکار انجام می‌شود (Maspero et al., 2020).

### ۲- مفهوم و فرآیند بیهوشی

کنترل هوشمند سطح بیهوشی از واژه یونانی Anaesthesia به معنی Insensibility گرفته شده است که برای بیان فقدان حس در همه یا بخشی از بدن به کار می‌رود. بیهوشی بوسیله داروهای القاء می‌شود که باعث کاهش فعالیت بافت عصبی موضعی، ناحیه‌ای یا CNS می‌شود. از دیدگاه فارماکولوژیکی تعریف قابل توجهی در مورد بیهوشی عمومی وجود داشته است. دپرس و تحریک دستگاه عصبی مرکزی می‌تواند در بیهوشی عمومی مؤثر باشد. مدیریت درد در بیماران توسط برخی داروها انجام می‌شود که Analgesic نامیده می‌شوند. این واژه از دو قسمت تشکیل شده است (an) به معنی فقدان و (algesic) به معنی درد. مدیریت درد اغلب در اثر درجات متفاوتی از اثربخشی است که نشان دهنده کاهش حس درد است پس باید دانست که تجویز یک داروی ضد درد نباید یک حالت خاص از بی‌دردی را ایجاد کند (Maspero et al., 2020). چندین اصطلاح معمولاً برای شرح اثرات داروهای بیهوشی و ضد درد به کار می‌رود که در ذیل به اختصار توضیح می‌دهیم (Chowdhury et al., 2021):

الف) Analgesia: به معنی عدم وجود درد در تحریکی که بطور معمول دردناک می‌باشد. این اصطلاح بطور عمومی برای شرح این حالت در بیمار آگاه به کار می‌رود.

ب) Pain: حس ناخوشایند و تجربه عاطفی که با آسیب بافتی واقعی و یا بالقوه ایجاد می‌شود. واژه‌های که آسیب را شرح می‌دهد.

پ) Tranquilization: تغییر رفتار ناشی از برطرف شدن اضطراب و نگرانی که باعث آرام شدن بیمار می‌شود. ترانکولایزرها داروهای می‌باشند که بعد از تجویز منجر به آرام بخشی می‌شوند. به هر حال بسیاری از افراد برای شرح داروهای می‌باشد که باعث کاهش اضطراب و ایجاد آرامش می‌شوند، ترجیح می‌دهند از واژه anxiolytic و یا anti-anxiety استفاده کنند.

ت) Sedation: حالتی که با دپرسیون مرکزی مشخص می‌شود و همراه خواب آلودگی است. بیمار عمدتاً به محیط اطراف خود آگاه نیست اما می‌تواند نسبت به تحریکات دردناک پاسخ دهد.



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

- ث) Narcosis: داروهایی هستند که باعث ایجاد خواب عمیق می‌شوند طوری که بیمار به آسانی بیدار می‌شود. این حالت ممکن است با بی‌دردی همراه باشد و یا اینکه بی‌دردی نداشته باشد.
- ج) Hypnosis: یک حالتی شبیه القای خواب مصنوعی یا شبیه خواب است که در اثر دپرسیون CNS است که بیمار به راحتی تحریک می‌شود.
- چ) Local anesthesia: بی‌حسی موضعی، کاهش حس درد در برخی نواحی بدن.
- ح) Regional anesthesia: حس نکردن درد در نواحی بزرگتر اما محدود. نواحی بدن معمولاً براساس الگوی عصب رسانی تعریف می‌شود.
- خ) General anesthesia: عدم هوشیاری القاء شده با دارو است که قابل کنترل است ولی دپرسیون سیستم اعصاب مرکزی و بی‌دردی آن قابل برگشت است. در این حالت بیمار به وسیله تحریکات خیلی شدید بیدار نشده و حس و حرکت و رفلکس‌های خودمختار کم می‌شود.
- د) Surgical general anesthesia: حالتی از بیهوشی که عدم هوشیاری، فراموشی، شلی عضلانی و بیدردی کافی برای جراحی فراهم می‌کند.
- ذ) Balanced anesthesia: یا بیهوشی متعادل که با استفاده همزمان چند دارو و تکنیک حاصل می‌شود. داروها را برای ایجاد واحدهای مجزا برای حالات بیهوشی هدف قرار می‌دهند که حالات بیهوشی عبارت از فراموشی، بی‌دردی، شلی عضلانی و تغییر رفلکس‌های اتونومیک می‌باشند.
- ر) Dissociative anesthesia: یا بیهوشی انفکاک‌ی القا بوسیله داروهایی مثل کتامین است که بطور مجزا برسیستم لیمبیک و بخش تالاموسی، قشری اثر می‌کند. این فرم از بیهوشی بوسیله یک حالت سفتی عضلانی مشخص می‌شود. به این صورت که چشم‌ها باز می‌ماند و رفلکس‌های بلع نیز به صورت فعال باقی می‌ماند. انقباضات عضلات اسکلتی نیز باقی می‌ماند. مگر اینکه یک داروی آرام بخشی قوی و یا یک شل کننده عضلانی محیطی یا مرکزی به همراه آن استفاده شود.

### ۳- روش‌های بررسی عمق بیهوشی

پیش از سال ۱۸۶۲ عمل جراحی برای جراح یک دغدغه ذهنی و آزمایشی سخت برای بیمار بود. مهمترین خصوصیت جراح مهارتش نبود بلکه سرعتش بود. برای کاهش درد از روش‌های مختلفی استفاده می‌شد اما موفقیت چندانی نداشت. واژه بیهوشی توسط الیور وندل هولمز در سال ۱۸۴۶ ابداع شده است. گازهای اکسید نیتروژن، اتر و کلروفرم برای اولین بار به عنوان بی‌حس کننده در قرن نوزدهم مورد استفاده قرار گرفت، به جهت سمی بودن نه اتر و نه کلروفرم امروزه در جراحی استفاده نمی‌شوند. اتوماسیون و کنترل سطح خواب آلودگی نیاز به خروجی‌های قابل اندازه‌گیری دارد. اندازه‌گیری عمق خواب آلودگی اغلب مورد بحث قرار می‌گیرد و هیچ جواب نهایی برای آن داده نشده است. بسیاری از محققان و شرکت‌ها به دنبال بهترین پارامتری می‌باشند که بتواند سطح خواب آلودگی را توصیف کند (Wang et al., 2020).

روش‌های کلاسیک: در روش معمول، متخصص بیهوشی با توجه به تجربه و مهارت خود، مقداری از داروی بیهوشی را تجویز و با مشاهده‌ی علائم بالینی و کلینیکی بیمار و تغییرات آن‌ها (مانند ضربان قلب، فشار خون، اندازه‌ی مردمک‌ها، اشک ریزش، میزان تعریق، حرکت اندام‌ها، شکل تنفس و ...) تخمینی از عمق بیهوشی بیمار به دست می‌آورد، از آنجایی که این متغیرها قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند، این روش قابل اطمینانی نیست (Wang et al., 2020).

روش‌های مانیتورینگ: روش‌های مانیتورینگ که بطور مستقیم اثرات ضد درد و خواب‌آوری یک ماده‌ی بیهوشی را در مدت عمل جراحی ارزیابی می‌کنند، به متخصصین بیهوشی امکان می‌دهند که اثرات قلبی-ریوی ناخوشایند آن را به حداقل برسانند. از آن جایی که سیستم اعصاب مرکزی (CNS) هدف اصلی داروهای بیهوشی است، مغز و بطور خاص تر سیگنال-های مغزی الکتروانسفالوگرام (EEG) مورد توجه ویژه متخصصین بیهوشی قرار گرفته و در سال‌های اخیر جامعه بیهوشی شاهد



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

توسعه چندین مانیتور هوشیاری مبتنی بر EEG بوده است. این مانیتورها فعالیت الکتریکی کورتکس بیمار را به منظور تخمین عمق بیهوشی وی کمی می‌کنند و آن را اندیس عمق بیهوشی می‌نامند. یکی از این مانیتورها، شاخص دو طیفی یا BIS می‌باشد که الگوریتم دقیق آن به صورت اسرار شرکتی بوده و هنوز منتشر نشده است. شاخص BIS توسط اسپکت مدیکال سیستم در سال ۱۹۹۴ ابداع شد (Wang et al., 2020). سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) در سال ۲۰۰۳ آن را در زمره سیستم‌های برتر هوشیاری اعلام نمود. اسپکت مدیکال سیستم، شرکتی است که در توسعه راه‌حل‌های فناوری مانیتورینگ مغز در آمریکا فعالیت می‌کند. شاخص BIS در بیهوشی عمومی به هوشبر کمک می‌کند تا میزان عامل بیهوشی را با دقت بیشتری از بیمار تا بیمار دیگر تعیین کند. ضرورت ساخت مانیتور BIS، آشکارسازی هوشیاری‌های حین عمل و پیشگیری از این امر بوده و در نتیجه این تکنیک سبب تنظیم دقیق‌تر دز دارو متناسب با وضعیت بیهوشی بیمار، کاهش زمان ریکاوری یا برگشت بیمار از حالت بیهوشی، کاهش مصرف دارو، گردش سریع‌تر تخت‌های بیمارستانی و کاهش هزینه‌های بیمارستانی، کاهش عوارض جانبی ناشی از داروی اضافی با کنترل دقیق‌تر بیهوشی می‌گردد (Ladefoged et al., 2019).

شاخص BIS بر پایه آمار و مجموعه پارامترهای برداشته شده در الکتروانسفالوگرافی و آزمایش‌های مختلف از جمله میزان متابولیک قند خون (گلوکوز) در طول جراحی عمل می‌کند. مجموعه‌ای سنگین از زیر پارامترهای الکتروانسفالوگرافی همراه دامنه آماری زمان-فرکانس و طیف آماری آرایش‌یافته، پایه و اساس محاسبه آن را تشکیل می‌دهد. BIS، یک مانیتورینگ بدون واحد از EEG است که از ۰ تا ۱۰۰ تقسیم‌بندی می‌شود. مقادیر BIS بین ۰-۱۰ نشان‌دهنده دستگاه اعصاب مرکزی (CNS) فعال و بیدار و عدد صفر نشانگر خلصه و سکوت در EEG است. BIS بین ۷۰-۹۰ نشانگر کاهش سطح هوشیاری، BIS برابر ۶۰ نشانگر بیهوشی سبک و BIS کمتر از ۴۰ نشان‌دهنده بیهوشی خیلی عمیق و خطرناک خواهد بود و ممکن است فرد دچار ایست قلبی گردد. عمق بیهوشی مطلوب در اتاق عمل جراحی بین ۴۰ تا ۶۰ یا بطور متوسط برابر ۵۰ می‌باشد. دستگاه اندازه‌گیری عمق بیهوشی به نمایش عمق بیهوشی به صورت یک کمیت، درصد دریافت سیگنال ماهیچه‌ای بعنوان اغتشاش، مقاومت لیدها و نهایتاً کیفیت دریافت سیگنال مغزی از سر بیمار می‌باشد (Abel et al., 2021). سیگنال‌های ماهیچه‌ای از جمله عواملی هستند که به عنوان نویز در سیگنال خروجی BIS ظاهر می‌گردند، دستگاه CSM دارای نمایشگر و فیلتر مناسب برای سیگنال در بازه فرکانسی ۷۵۸۰ هرتز می‌باشد. بطور کلی سیگنال ماهیچه‌ای وقتی بیمار در بیداری و هوشیاری کامل به سر می‌برد، به وجود می‌آید، اما گاهی نیز در طی عمل جراحی، در بیهوشی کامل، این سیگنال به عنوان نویزی در خروجی ظاهر می‌گردد. از جمله می‌توان به موارد واکنش به تحریکات دردآور در طی عمل جراحی، عدم تزریق داروی شل‌کننده عضلانی، سفت شدن ماهیچه‌ها در اثر تزریق داروهای بی‌حسی و دردها، وجود میدان‌های الکتریکی قوی و خارجی نظیر دستگاه دیاترمی به منظور معالجه به وسیله حرارت و یا دستگاه الکتروکاتر برابرش که عواملی در به وجود آمدن سیگنال ماهیچه‌ای در هنگام بیهوشی می‌باشند، اشاره نمود (Ladefoged et al., 2019). افزایش در سیگنال خروجی BIS می‌تواند به علت وجود سیگنال ماهیچه‌ای باشد. بنابراین به هنگام افزایش سیگنال BIS ابتدا باید سیگنال ماهیچه‌ای بیمار و تحریکات اعمال شده به او بررسی شود و در صورت لازم داروی شل‌کننده عضلانی تزریق گردد و بعد از اطمینان از عدم وجود سیگنال ماهیچه‌ای، تزریق داروی بیهوشی به منظور کاهش سطح هوشیاری بیمار، انجام گردد. همچنین دستگاه CSM مجهز به الگوریتم حذف نویز از سیگنال EEG دریافتی از مغز بیمار می‌باشد. در نتیجه می‌توان اطمینان داشت که سیگنال مغزی دریافتی تا حد زیادی عاری از هرگونه نویز، حتی به هنگام استفاده از سایر تجهیزات پزشکی می‌باشد. محدودیت‌هایی نیز در اندازه‌گیری BIS بیماران وجود دارد که شامل محدود بودن تعداد دستگاه‌های مانیتورینگ BIS در اتاق عمل، گران بودن لیدهای ویژه‌ی دستگاه و عدم کارایی دستگاه در اعمال جراحی سر و گردن (در اختیار نبودن مناطق مورد نیاز جهت نصب لیدهای دستگاه BIS می‌باشد (که عواملی در به وجود آمدن سیگنال ماهیچه‌ای در هنگام بیهوشی می‌باشند، اشاره نمود (Abel et al., 2021).

نحوه انتخاب مدل بیمار: به منظور بررسی نحوه توزیع و جذب دارو، غلظت دارو در بافت‌های مختلف بدن مورد مطالعه قرار می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای مدل نمودن اثر دارو وجود دارد. مدل چند قسمتی یک مدل مفید، موثر، ساده و منطقی می‌-



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

باشد که در بسیاری از کاربردهای کامپیوتری تزریق دارو بکار می‌رود. هدف اولیه مدل نمودن اثر دارو، تنظیم غلظت دارو در پلاسمای خون یا بخشی از بدن مثل مغز می‌باشد. اما اندازه‌گیری مستقیم غلظت دارو در بدن به خصوص در پلاسمای خون و مغز به راحتی امکان‌پذیر نیست. در مدل‌های موردنظر، پارامترهای اثر داروی بیهوشی، ثابت فرض می‌شوند اما باید در نظر داشت که با تغییر فیزیولوژیکی بدن، این فرضیه نقض می‌گردد و مدلی با عدم قطعیت پارامتری خواهیم داشت (Litjens et al., 2019).

مدل فارماکوکنتیک: بسیاری از مدل‌های چند قسمتی، برای بررسی اثر دارویی مناسب می‌باشند. این مدل‌ها می‌توانند شامل دو، سه یا چهار قسمت باشند. در داروهای بیهوشی، مدل‌های دو یا سه قسمتی به راحتی می‌توانند توزیع دارو را شبیه‌سازی نمایند. مدل سه قسمتی، پیچیده اما انعطاف‌پذیر است. قسمت اول، شامل رگ‌های خون یا ارگان‌هایی می‌باشند که عروق خونی زیادی دارند، مانند کبد، مغز و کلیه، قسمت دوم، بافت‌های ماهیچه‌ای و قسمت سوم، ارگان‌های جانبی مانند پوست و استخوان‌اند. دو نوع مدل سه قسمتی وجود دارد، مدل زنجیره‌ای و مدل پستانی که مدل پستانی رایج‌تر می‌باشد و در این بخش ارائه می‌گردد (Litjens et al., 2019).

### ۴- رویکرد هوش مصنوعی و یادگیری عمیق

هوش مصنوعی (AI) یک حوزه بسیار گسترده و فعال می‌باشد که نقطه تلاقی بسیاری از دانش‌ها به حساب می‌آید. تاکنون تعریف جامعی از این واژه که اکثریت دانشمندان بر روی آن توافق داشته باشند، ارائه نشده است و این پدیده کاملاً قابل درک است زیرا واژه مادر آن، «هوش» هنوز تعریف واحدی ندارد. طبق تعریف، هوش مصنوعی عبارت است از مطالعه این که چگونه کامپیوترها را توانمند سازیم تا بتوانند کارهایی را انجام دهند که در حال حاضر، مردم آن را بهتر انجام می‌دهند. همانگونه که از تعریف فوق پیداست، چالش اصلی در هوش مصنوعی انجام دادن کارهایی توسط ماشین است که این کارها برای انسان ساده و برای کامپیوتر بسیار دشوار است. برای مثال شما ممکن است یکی از اعضای خانواده را بدون دیدن چهره و صرفاً از روی شیوه راه رفتن به راحتی شناسایی کنید، اما این کار برای ماشین دشوار خواهد بود. تئوری‌های پیچیده ریاضی برای رسیدن به اهداف این حوزه، به کار گرفته می‌شوند. حوزه علوم پزشکی، در ماهیت خود با پیچیدگی‌های تشخیصی و درمان روبرو است و از این رو روش‌های هوش مصنوعی به دلیل ایجاد سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، توجه متخصصان حوزه پزشکی را به خود جلب کرده است (Abiodun et al., 2018). از انواع طبقه‌بندها شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) است. شبکه عصبی مصنوعی یا به زبان ساده‌تر شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده‌ی اصلی این گونه شبکه‌ها تا حدودی الهام‌گرفته از شیوهی کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد. عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه‌ی پردازش اطلاعات است. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم‌پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم‌همانگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر یک سلول آسیب ببیند بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آن را جبران کرده، و نیز در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری‌اند. یادگیری در این سیستم‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد، یعنی با استفاده از مثال‌ها وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید، سیستم پاسخ درستی تولید کند (Abiodun et al., 2018).

یادگیری عمیق زیرشاخه‌ای از یادگیری ماشینی است که از لایه‌های متعدد تبدیلات خطی به منظور پردازش سیگنال‌های حسی مانند صدا و تصویر استفاده می‌کند. ماشین در این روش هر مفهوم پیچیده را به مفاهیم ساده‌تری تقسیم می‌کند، و با ادامه‌ی این روند به مفاهیم پایه‌ای می‌رسد که قادر به تصمیم‌گیری برای آن‌ها است و بدین ترتیب نیازی به نظارت کامل انسان



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

برای مشخص کردن اطلاعات لازم ماشین در هر لحظه نیست. موضوعی که در یادگیری عمیق اهمیت زیادی دارد، نحوه ارائه اطلاعات است. ارائه دادن اطلاعات به ماشین باید به نحوی باشد که ماشین در کمترین زمان اطلاعات کلیدی را که می‌تواند با استناد به آن‌ها تصمیم بگیرد را دریافت کند. در شبکه عصبی کانولوشن (CNN) هر نورون تعدادی ورودی دریافت کرده، سپس حاصل ضرب وزن‌ها در ورودی‌ها را محاسبه می‌کند. در انتها با استفاده از یک تابع تبدیل غیرخطی نتیجه‌ای را ارائه دهد. کل شبکه همچنان یک تابع امتیاز، مشتق‌پذیر را ارائه می‌دهد. این نوع شبکه‌ها هنوز یک تابع هزینه (مثل SVM, Softmax) و در لایه آخر، یک لایه تماماً مرتبط دارند. شبکه عصبی بازگشتی (RNN) این شبکه‌ها در واقع برای پردازش سیگنال‌های دنباله دار به وجود آمدند. در یک شبکه عصبی معمولی تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها مستقل از یکدیگر هستند، اما در بسیاری از موارد این ایده می‌تواند، خیلی بد باشد. به عنوان مثال فرض کنید شما در یک جمله به دنبال پیش‌بینی کلمه بعدی هستید در صورتی که شبکه نتواند روابط بین کلمات را یاد بگیرد مسلماً نمی‌تواند کلمه بعدی را به درستی پیش‌بینی کند. این شبکه‌ها دارای یک نوع حافظه‌اند که اطلاعاتی تاکنون دیده است؛ را ضبط می‌کند. در تئوری اینطور به نظر می‌رسد که این شبکه‌ها می‌توانند اطلاعات موجود در یک دنباله طولانی را ضبط و از آنها استفاده کنند؛ اما در عمل اینطور نیست و بسیار محدود می‌باشد، به این صورت که فقط اطلاعات چند گام قبل را ضبط می‌کنند. یک شبکه عصبی پیش‌خور (FNN) یک شبکه عصبی مصنوعی است، که در آن اتصال میان واحدهای تشکیل دهنده آن یک چرخه را تشکیل نمی‌دهند. در واقع این شبکه متفاوت از شبکه‌های عصبی بازگشتی می‌باشد. شبکه عصبی پیش‌خور اولین و ساده‌ترین نوع شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. در این شبکه اطلاعات تنها از یک مسیر حرکت می‌کند که جهت آن رو به جلو می‌باشد. در واقع اطلاعات با شروع از گره (نورون)‌های ورودی و گذر از لایه‌های پنهان (در صورت وجود) به سمت گره‌های خروجی می‌روند. همانطور که گفته شد در این شبکه حلقه یا دوری وجود ندارد (LeCun et al., 2015).

### ۵- مروری بر یادگیری عمیق در مهندسی بیپوشی

شاهی و همکاران (۲۰۰۹) یک روش قابل اعتماد و مستقل از رفلکس‌های عضلانی ارائه دادند، متخصص بیپوشی از تعدادی علائم کلینیکی (مانند فشار خون، تعرق، اشک، حرکت بدن و...) و اندازه‌گیری بر خط جهت تعیین حالت بیمار استفاده می‌کند. اهمیت این علائم بعد از استفاده از مسدود کننده‌های عصبی عضلانی کاهش می‌یابد. شال‌باف و همکاران (۲۰۱۷) سیستم Infus-O.R که با کدهای مغناطیسی کار می‌کند، نرم‌افزار Stanpump که ارائه شده به منظور کاهش نقش فرد متخصص در حین بیپوشی تلاش‌های زیادی با استفاده از روش‌های کنترل حلقه بسته انجام گرفته است. جیونگ و همکاران (۲۰۱۹) در حیطه یادگیری عمیق در پژوهشی نشان دادند که از شبکه عصبی بازگشتی بر حسب مقادیر و شرایط مختلف مجموعه داده ورودی برای تعیین سطح داروی بیپوشی استفاده شده است. کنگ و همکاران (۲۰۲۰) از استخراج ویژگی برای کلاس‌بندی توسط الگوریتم‌های شبکه عصبی پرسپترون، بیزین‌نیو، رگرسیون خطی و جنگل تصادفی استفاده کردند. تعداد ویژگی‌های مدنظر برای تشخیص میزان دز داروی بیپوشی، مرتبط با سن، جنسیت، قد، وزن، آزمایشات خون همچون هیپاتیت و غیره؛ در نظر گرفته شده است. معیار درستی برای الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون برای کل ویژگی‌ها ۷۰/۷، برای الگوریتم جنگل تصادفی ۷۶/۲۸، رگرسیون خطی ۶۲/۰۱ و نیویز مقدار درستی ۵۴/۷۴ بر روی مجموعه ورودی داشت. لی و همکاران (۲۰۲۰) یک روش مبتنی بر استخراج ویژگی بر روی سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام در زمان بیپوشی پس از تزریق بیپوشی و استفاده از شبکه عصبی LSTM برای تحلیل و پیش‌بینی عملکردهای آن استفاده کرده است. سیگنال‌های با استفاده از استخراج ویژگی‌های مهم که شامل ۴۶ ویژگی استخراجی و مقایسه عملکردهای آن‌هاست، به عنوان ورودی شبکه عصبی بازگشتی برای تشخیص کلاس متناظر اعمال می‌گردد. پارک و همکاران (۲۰۲۰)، یک روش مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشن بر روی مجموعه داده سطحی بیپوشی شامل بیش از ۲۰۵۷۴۳ مورد بیمار در هنگام بیپوشی برای سیگنال‌های الکتروکاردیوگرام، در زبان



## چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک

پایتون ۳ و بسته یادگیری عمیق تنسورفلو، به صورت زمان واقعی ارائه کرده است. شبکه عصبی کانولوشن شامل ۳۲ فیلتر کانولوشن، یک لایه حداکثر پولینگ، دومین لایه کانولوشنی با ۳۲ فیلتر، لایه پولینگ دوم و در نهایت لایه کاملاً متصل برای تشخیص کلاس سیگنال در زمان بیهوشی استفاده شده است.

### ۶- نتیجه گیری

عملیات جراحی به مجموعه‌ای از کارها و فعالیت‌های اطلاق می‌شود که برای یک بیمار با شرایط مختلف اناتومیک پیاده‌سازی می‌شود تا شرایط بحرانی بیمار به شرایط بهبودی نزدیکتر گردد یا بهبودی کامل حاصل شود. این عملیات نیازمند انجام بیهوشی بیمار حین عملیات جراحی می‌باشد که توسط متخصص بیهوشی در اتاق عمل صورت می‌پذیرد. بیهوشی کار حساس و خطیری است که در صورت عدم پیاده‌سازی مناسب امکان ایجاد درد در حین عمل تا مرگ بیمار شود. بدین منظور نیازمند بکارگیری روش‌ها و فناوری‌های نوین تا بتواند با دقت بالاتر اقدام به پاسخ بهینه به شرایط بیهوشی نماید. این مسئله امروزه با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری عمیق محقق شده است. استفاده از چنین فناوری‌های باتوجه به شرایط فعلی بخصوص در ایران نیازمند آگاهی از چالش‌ها و فرصت‌های این نوع تکنولوژی‌ها است. در این راستا مطالعه حاضر به مروری از شرایط موجود آن پرداخته است.

### مراجع

1. Abel, J.H., Badgeley, M.A., Meschede-Krasa, B., Schamberg, G., Garwood, I.C., Lecamwasam, K., Brown, E. N. (2021). *Machine learning of EEG spectra classifies unconsciousness during GABAergic anesthesia*. Plos one, 16(5), e0246165.
2. Abiodun, O.I., Jantan, A., Omolara, A.E., Dada, K.V., Mohamed, N.A., Arshad, H. (2018). *State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey*. Heliyon, 4(11), e00938.
3. Chowdhury, M.R., Madanu, R., Abbod, M.F., Fan, S.Z., Shieh, J.S. (2021). *Deep learning via ECG and PPG signals for prediction of depth of anesthesia*. Biomedical Signal Processing and Control, 68, 102663.
4. Jeong, Y.S., Kang, A.R., Jung, W., Lee, S.J., Lee, S., Lee, M., Kim, S.H. (2019). *Prediction of Blood Pressure after Induction of Anesthesia Using Deep Learning: A Feasibility Study*. Applied Sciences, 9(23), 5135.
5. Kang, A.R., Lee, J., Jung, W., Lee, M., Park, S.Y., Woo, J., Kim, S.H. (2020). *Development of a prediction model for hypotension after induction of anesthesia using machine learning*. PloS one, 15(4), e0231172.
6. Ladefoged, C.N., Marnier, L., Hindsholm, A., Law, I., Højgaard, L., Andersen, F.L. (2019). *Deep learning based attenuation correction of PET/MRI in pediatric brain tumor patients: evaluation in a clinical setting*. Frontiers in neuroscience, 12, 1005.
7. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015). *Deep learning*. nature, 521(7553), 436-444.
8. Lee, H.C., Ryu, H.G., Chung, E.J., Jung, C.W. (2018). *Prediction of bispectral index during target-controlled infusion of propofol and remifentanyl: a deep learning approach*. Anesthesiology, 128(3), 492-501.
9. Li, R., Wu, Q., Liu, J., Wu, Q., Li, C., Zhao, Q. (2020). *Monitoring Depth of Anesthesia Based on Hybrid Features and Recurrent Neural Network*. Frontiers in Neuroscience, 14.
10. Litjens, G., Ciompi, F., Wolterink, J.M., de Vos, B.D., Leiner, T., Teuwen, J., Išgum, I. (2019). *State-of-the-art deep learning in cardiovascular image analysis*. JACC: Cardiovascular imaging, 12(8 Part 1), 1549-1565.
11. Maspero, M., Bentvelzen, L.G., Savenije, M.H., Guerreiro, F., Seravalli, E., Janssens, G.O., Philippons, M.E. (2020). *Deep learning-based synthetic CT generation for paediatric brain MR-only photon and proton radiotherapy*. Radiotherapy and Oncology, 153, 197-204.
12. Nguyen-Ky, T., Wen, P., Li, Y., Gray, R. (2011). *Measuring and reflecting depth of anesthesia using wavelet and power spectral density*. IEEE Transactions on information technology in Biomedicine, 15(4), 630-639.



13. Park, Y., Han, S.H., Byun, W., Kim, J.H., Lee, H.C., Kim, S.J. (2020). *A Real-Time Depth of Anesthesia Monitoring System Based on Deep Neural Network with Large EDO Tolerant EEG Analog Front-End*. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems.
14. Shalhaf, A., Saffar, M., Sleight, J.W., Shalhaf, R. (2017). *Monitoring the depth of anesthesia using a new adaptive neurofuzzy system*. IEEE journal of biomedical and health informatics, 22(3), 671-677.
15. Shieh, J. S., Abbod, M. F., Hsu, C. Y., Huang, S. J., Han, Y. Y., Fan, S.Z. (2009). *Monitoring and control of anesthesia using multivariable self-organizing fuzzy logic structure*. Fuzzy Systems in Bioinformatics and Computational Biology, pp. 273-295.
16. Wang, Y., Lei, L., Ji, M., Tong, J., Zhou, C. M., Yang, J.J. (2020). *Predicting postoperative delirium after microvascular decompression surgery with machine learning*. Journal of Clinical Anesthesia, 66, 109896.
17. Wingert, T., Lee, C., Cannesson, M. (2021). *Machine Learning, Deep Learning, and Closed Loop Devices—Anesthesia Delivery*. Anesthesiology clinics, 39(3), 565-581.