

به نام خدا



یادگیری ماشین
پروژه پایانی
فاز اول

۸۱۰۱۹۹۴۰۳	زهرا حجتی
۸۱۰۱۹۹۴۲۵	ایمان رسولی پرتو
۸۱۰۱۹۹۴۴۴	احسان شعفی

فهرست مطالب

۲	۱	مقدمه‌ای بر تصویرسازی حرکتی
۲	۱.۱	اهمیت تصویرسازی حرکتی
۴	۲	چالش‌ها و راه حل‌های تصویرسازی حرکتی
۶	۳	پیش‌پردازش سیگنال‌های EEG
۶	۱.۳	اهمیت پیش‌پردازش سیگنال‌های EEG در زمینه تصویرسازی حرکتی
۶	۲.۳	مراحل معمول پیش‌پردازش سیگنال‌های EEG
۹	۴	تکنیک‌های استخراج ویژگی

۱ مقدمه‌ای بر تصویرسازی حرکتی

تصویرسازی حرکتی (IM) یک فرایند شناختی است که در آن فرد به صورت ذهنی حرکات را شبیه سازی می‌کند بدون اینکه به صورت واقعی آنها را انجام دهد. این کار با تصور حرکات و kinesthetic های مربوط حرکات فیزیکی انجام می‌شود. فعالیت مغز در این حالت بسیار نزدیک به انجام واقعی این حرکات است. انواع تصویرسازی حرکتی:

- ❖ تصویرسازی حرکتی بصری (Visual Motor Imagery): تصور حرکت کردن با مشاهده ویدیویی از فردی در حال انجام آن حرکت.
- ❖ تصویرسازی حرکتی جنبشی (Kinesthetic Motor Imagery): تصور حرکت کردن با تمرکز بر حواس ماهیچه‌ها و مفصل‌ها در هنگام حرکت.

۱.۱ اهمیت تصویرسازی حرکتی

- ❖ توانبخشی و درمان: از این فرایند برای درمان بیمارانی که حمله‌های عصبی یا سکته را رد کرده‌اند استفاده می‌شود. با نتایج این فرایند می‌توان با تمرین دوباره مغز بیمار مهارت‌های حرکتی او را بهبود داد و مشکل‌های ناشی از آسیب‌های عصبی را کنترل کرد.
- ❖ بهبود پس از جراحی: این فرایند به روند بیماران پس از جراحی سرعت می‌بخشد، این کار با نگه داشتن pathway های نورونی مربوط به حرکت هنگام recovery بیمار انجام می‌شود.
- ❖ بهبود عملکرد: به ورزشکاران در افزایش تمرکز کمک می‌کند، و با تمرین حرکات ذهنی موفق باعث کاهش اضطراب می‌شود.
- ❖ رابط‌های مغز-کامپیوتر (BCIs): تصویرسازی حرکتی در BCIs برای کنترل دستگاه‌های خارجی (مانند پروتزها، کامپیوترها) با ترجمه حرکات تصور شده به دستورات استفاده می‌شود و کیفیت زندگی افراد با ناتوانی‌های شدید جسمی را بهبود می‌بخشد.

رابط‌های مغز و کامپیوتر (BCIs)

- ❖ رابط‌های مغز و کامپیوتر فناوری‌هایی هستند که سیگنال‌های مغزی را تفسیر کرده و آنها را به فرمان‌های اجرایی برای کنترل دستگاه‌های خارجی تبدیل می‌کنند. این فناوری به افراد

با ناتوانی‌های جسمی شدید، مانند قطع نخاع یا بیماری‌های نورودژنراتیو، اجازه می‌دهد تا ارتباطات خود را با محیط اطراف بهبود بخشند و استقلال بیشتری داشته باشند.

❖ کنترل اندام‌های مصنوعی: با استفاده از تصویرسازی حرکتی، افراد می‌توانند پروتزهای دست و پای خود را کنترل کنند. این پروتزها سیگنال‌های مغزی ناشی از تصویرسازی حرکتی را دریافت کرده و حرکت‌های مشابه را اجرا می‌کنند.

❖ بهبود دقت و سرعت: تمرینات منظم تصویرسازی حرکتی می‌تواند دقت و سرعت کنترل پروتزها را افزایش دهد و تجربه کاربری بهتری را فراهم آورد.

❖ تایپ کردن و کنترل کامپیوتر: افراد می‌توانند با استفاده از تصویرسازی حرکتی، کلمات و جملات را تایپ کرده و کامپیوترهای خود را کنترل کنند. این فرآیند از طریق تفسیر سیگنال‌های مغزی و ترجمه آن‌ها به حرکات موس و کیبورد انجام می‌شود.

❖ کنترل دستگاه‌های خانگی هوشمند: BCIs مجهز به تصویرسازی حرکتی می‌توانند برای کنترل دستگاه‌های خانگی مانند روشن و خاموش کردن چراغ‌ها، تنظیم ترموستات و کنترل سیستم‌های صوتی استفاده شوند.

❖ بازی‌های ویدیویی کنترل‌شده با ذهن: با استفاده از تصویرسازی حرکتی، افراد می‌توانند بازی‌های ویدیویی را کنترل کنند. این نه تنها تجربه سرگرمی را بهبود می‌بخشد، بلکه به عنوان یک ابزار توانبخشی نیز عمل می‌کند.

❖ واقعیت مجازی (VR): ادغام تصویرسازی حرکتی با فناوری‌های واقعیت مجازی می‌تواند تجربه‌ای غنی‌تر و تعاملی‌تر ایجاد کند و به کاربران اجازه می‌دهد تا در محیط‌های مجازی به طور مستقیم شرکت کنند.

❖ بازآموزی حرکتی: تصویرسازی حرکتی در BCIs می‌تواند به عنوان یک ابزار توانبخشی برای بیماران با مشکلات حرکتی مورد استفاده قرار گیرد. این فرآیند به بازآموزی مغز و بهبود عملکردهای حرکتی کمک می‌کند.

❖ تمرینات تقویتی: BCIs می‌توانند تمرینات تقویتی مبتنی بر تصویرسازی حرکتی را ارائه دهند که به بهبود قدرت و هماهنگی عضلات کمک می‌کند.

❖ مطالعات عصب‌شناسی: تصویرسازی حرکتی در BCIs به محققان کمک می‌کند تا بهتر بتوانند فرآیندهای مغزی مرتبط با حرکت و توانبخشی را مطالعه کنند.

❖ توسعه فناوری‌های نوین: استفاده از تصویرسازی حرکتی در توسعه فناوری‌های جدید BCIs به پیشرفت این حوزه کمک می‌کند و امکانات جدیدی را فراهم می‌آورد.

۲ چالش‌ها و راه‌حل‌های تصویرسازی حرکتی

تصویرسازی حرکتی (Motor Imagery) با وجود کاربردهای گسترده و مزایای فراوان، با چالش‌های متعددی مواجه است که می‌تواند استفاده موثر از آن را محدود کند. در این بخش، به برخی از این چالش‌ها و راه‌حل‌های موجود برای آنها می‌پردازیم.

❖ متفاوت بودن توانایی‌های فردی

چالش: افراد مختلف توانایی‌های متفاوتی در تصویرسازی حرکتی دارند. برخی افراد ممکن است به سختی بتوانند حرکات را به طور واضح تصور کنند.

راه‌حل: آموزش و تمرین‌های منظم می‌تواند به بهبود توانایی‌های تصویرسازی کمک کند. استفاده از تکنیک‌های روانشناختی مانند هدایت تصویری و بازخورد عصبی (neurofeedback) نیز می‌تواند موثر باشد.

❖ اندازه‌گیری و تفسیر سیگنال‌های مغزی

چالش: استخراج و تفسیر دقیق سیگنال‌های مغزی مرتبط با تصویرسازی حرکتی پیچیده است و نیاز به تجهیزات پیشرفته و تخصصی دارد.

راه‌حل: استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند الکتروانسفالوگرافی (EEG) و تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI) می‌تواند به بهبود دقت اندازه‌گیری سیگنال‌ها کمک کند. توسعه الگوریتم‌های هوشمند و یادگیری ماشین نیز می‌تواند به تفسیر بهتر سیگنال‌ها کمک کند.

❖ پایایی و قابلیت تکرار

چالش: سیگنال‌های مغزی می‌توانند به دلایل مختلف از جمله خستگی، تغییرات روانی و محیطی متغیر باشند که این مسئله پایایی و قابلیت تکرار تصویرسازی حرکتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

راه‌حل: تنظیم دقیق پروتکل‌های تمرینی و استفاده از روش‌های استاندارد شده می‌تواند به بهبود پایایی کمک کند. همچنین، ترکیب داده‌های چند جلسه و استفاده از میانگین‌گیری سیگنال‌ها می‌تواند قابلیت تکرار را افزایش دهد.

❖ بازخورد و انگیزش

چالش: عدم وجود بازخورد فوری و مستقیم در تصویرسازی حرکتی می‌تواند به کاهش انگیزش و علاقه افراد منجر شود.

راه‌حل: ارائه بازخورد بصری یا شنیداری در زمان واقعی از طریق تکنیک‌های بازخورد عصبی می‌تواند به بهبود انگیزش و عملکرد کمک کند. همچنین، طراحی برنامه‌های آموزشی جذاب و متنوع می‌تواند انگیزش را افزایش دهد.

❖ پیچیدگی و زمان‌بر بودن

چالش: فرآیند آموزش و توانبخشی با تصویرسازی حرکتی ممکن است زمان‌بر و پیچیده باشد که این مسئله می‌تواند برای برخی از افراد خسته‌کننده و ناکارآمد باشد.

راه‌حل: استفاده از روش‌های مرحله‌ای و تدریجی در آموزش و توانبخشی می‌تواند به کاهش پیچیدگی و افزایش کارایی کمک کند. همچنین، استفاده از فناوری‌های هوشمند و تطبیق‌پذیر می‌تواند فرآیند را سریع‌تر و مؤثرتر کند.

۳ پیش پردازش سیگنال‌های EEG

۱.۳ اهمیت پیش پردازش سیگنال‌های EEG در زمینه تصویرسازی حرکتی

پیش پردازش سیگنال‌های EEG مرحله‌ای مهم در تحلیل و استفاده از این سیگنال‌ها است. این مرحله شامل پاکسازی و آماده‌سازی داده‌ها برای استخراج ویژگی‌ها و تحلیل‌های بعدی است. پیش پردازش مناسب می‌تواند نویزها و تداخلات را کاهش داده و دقت سیستم‌های BCI را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

دلایل اهمیت پیش پردازش سیگنال‌های EEG

❖ کاهش نویز: سیگنال‌های EEG اغلب با انواع مختلف نویز مثل تداخل الکتریکی از سایر دستگاه‌ها، فعالیت بدنی (نویز الکترومایوگرافی) و حرکات چشم (نویز الکتروکولوگرافی) آلوده می‌شوند. پیش پردازش به تمیز کردن این سیگنال‌ها کمک می‌کند و باعث می‌شود که تحلیل بر روی فعالیت واقعی مغز متمرکز باشد.

❖ Signal Enhancement: با فیلتر کردن سیگنال ویژگی‌های مربوط به تصویرسازی حرکتی تقویت می‌شوند که تشخیص و طبقه‌بندی آنها را ساده‌تر می‌کند.

❖ استخراج ویژگی: با پیش پردازش سیگنال‌ها امکان استخراج دقیق‌تر ویژگی‌ها مثل چگالی‌های طیفی قدرت، پتانسیل‌های مرتبط با رویداد (ERPs)، یا باندهای فرکانسی خاص مرتبط با وظایف تصویرسازی حرکتی فراهم می‌شود.

❖ طبقه‌بندی بهبود یافته: سیگنال‌های تمیز و Enhanced عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین مورد استفاده در BCI را بهبود می‌بخشند.

۲.۳ مراحل معمول پیش پردازش سیگنال‌های EEG

۱. فیلتر کردن: اینکار می‌تواند به روش‌های مختلفی انجام شود:

(آ) فیلترهای میان‌گذر (۸-۳۰ هرتز): فیلتر میان‌گذر (۸-۳۰ هرتز) به طور خاص سیگنال‌های در بازه فرکانسی ۸ تا ۳۰ هرتز را عبور می‌دهد و سیگنال‌های با فرکانس کمتر از ۸ هرتز و بیشتر از ۳۰ هرتز را حذف می‌کند. این فیلتر به طور گسترده‌ای در پردازش سیگنال‌های EEG استفاده می‌شود تا باندهای فرکانسی مورد نظر را استخراج کند.

در زمینه تصویرسازی حرکتی و تحلیل سیگنال‌های EEG، باندهای فرکانسی خاصی اهمیت دارند، از جمله باندهای مو و بتا:

☆ باند مو (۸-۱۳ هرتز): این باند فرکانسی معمولاً در ناحیه‌های حسی-حرکتی مغز دیده می‌شود و با فعالیت‌های حرکتی و تصویرسازی حرکتی مرتبط است. باند مو در حالت استراحت فعال است و با شروع یا تصور حرکت کاهش می‌یابد (پدیده‌ای به نام μ suppression یا "motor rhythm").

☆ باند بتا (۱۳-۳۰ هرتز): این باند فرکانسی نیز در ناحیه‌های حسی-حرکتی دیده می‌شود و با فعالیت‌های حرکتی، توجه و تصمیم‌گیری مرتبط است. افزایش فعالیت در باند بتا معمولاً با انجام یا تصور حرکت دیده می‌شود.

نقش فیلتر میان‌گذر ۸-۳۰ در جداسازی فرکانس‌های خاص مو و بتا

❖ حذف نویزهای کم و زیاد فرکانس: با عبور دادن تنها سیگنال‌های در محدوده ۸-۳۰ هرتز، این فیلتر نویزهای کم‌فرکانس (مانند حرکات چشم و سیگنال‌های الکتریکی با فرکانس پایین) و نویزهای با فرکانس بالا (مانند نویز الکترومایوگرافی و تداخلات الکتریکی) را حذف می‌کند.

❖ استخراج باندهای مو و بتا: با فیلتر کردن سیگنال‌ها در بازه ۸-۳۰ هرتز، فیلتر میان‌گذر کمک می‌کند تا فعالیت‌های مرتبط با باندهای مو (۸-۱۳ هرتز) و بتا (۱۳-۳۰ هرتز) بهتر نمایان شوند و برای تحلیل‌های بعدی آماده شوند.

❖ بهبود دقت تحلیل: با تمرکز بر فرکانس‌های خاص مرتبط با فعالیت‌های حرکتی، این فیلتر دقت تحلیل‌های مرتبط با تصویرسازی حرکتی را افزایش می‌دهد.

❖ افزایش وضوح سیگنال: فیلتر میان‌گذر باعث می‌شود که تغییرات کوچک در باندهای مو و بتا که مرتبط با تصویرسازی حرکتی هستند، به وضوح بیشتری دیده شوند، که این امر کمک می‌کند تا فعالیت‌های مغزی بهتر درک شوند.

(ب) فیلترهای فضایی:

❖ CAR: این تکنیک برای حذف مولفه‌های نویز مشترک از سیگنال‌های EEG استفاده می‌شود این کار با کم کردن میانگین فعالیت تمام الکترودها از سیگنال الکتروود مورد نظر انجام می‌شود. این تکنیک به کاهش منابع مشترک نویز مانند تداخل محیطی و فعالیت عضلانی کمک می‌کند. مزایای این روش ساده بودن پیاده‌سازی، کاهش موثر منابع نویز مشترک و بهبود سیگنال نسبت به نویز است که تشخیص فعالیت‌های مغزی را آسان‌تر می‌کند.

❖ PCA: یک تکنیک آماری برای کاهش بعد داده‌ها است که آن‌ها را به یک مجموعه جدیدی از اجزاء ارتباطی تبدیل می‌کند. مزایای این روش جداسازی موثر نویز از سیگنال، کاهش بعد داده‌ها و تجزیه و تحلیل ساده‌تر و حفظ واریانس سیگنال می‌باشد. این تکنیک برای جدا کردن مؤلفه‌های سیگنال از مؤلفه‌های نویز در داده‌های EEG استفاده می‌شود که در حذف نویزها، استخراج ویژگی‌ها و رفع نویزها در تجزیه و تحلیل EEG مفید است.

❖ ICA: یک تکنیک جداسازی نهان مستقل است که برای تجزیه سیگنال‌های EEG چند کاناله به مؤلفه‌های آماری که مستقل از یکدیگر هستند، استفاده می‌شود. برخلاف PCA که مؤلفه‌ها را بر اساس واریانس استخراج می‌کند، ICA مؤلفه‌هایی را شناسایی می‌کند که مستقل از یکدیگر هستند. این روش در حذف Artifact های سیگنال‌های EEG استفاده می‌شود. مزایای این روش جداسازی موثر نویز از سیگنال EEG، حفظ اطلاعات فضایی و زمانی و انعطاف‌پذیری در انتخاب مؤلفه‌ها است.

❖ MNE: این تکنیک بر اساس داده‌های EEG مغز، توزیع منابع جریان در مغز را تخمین می‌زند. این تکنیک سعی می‌کند کمینه norm ای را بیابد که داده‌های حسگر ثبت شده را توصیف می‌کند در حالی که مجموع قدرت منبع کل را کمینه می‌کند. مزایای این روش ارائه موقعیت دقیق منابع مغز، مدیریت داده‌های نویزی و منابع همپوشانی است.

❖ Laplacian Filter: این روش مشتق فضایی دوم سیگنال‌های EEG را محاسبه می‌کند تا وضوح فضایی را بهبود دهد و نویزهای فضایی دورتر را تضعیف کند. این فیلتر تغییرات محلی در بزرگی سیگنال را نسبت به سیگنال‌هایی از منابع دورتر موثرتر می‌کند. این روش در تحلیل سیگنال‌های EEG برای بهبود وضوح فضایی استفاده می‌شود. مزایای این روش محلی کردن فعالیت عصبی، تضعیف منابع نویزی دور و قابلیت سفارشی‌سازی برای تنظیمات فضایی خاص است.

۲. حذف Artifact:

(آ) ICA: جدا کردن Artifact هایی مثل پلک زدن و فعالیت عضلانی

(ب) Rejection (Manual or Automatic): شناسایی و حذف قطعات سیگنال آلوده به Artifact ها

۳. Normalization: نرمال‌سازی داده‌ها به یک مقیاس مشترک

۴. Segmentation: تقسیم‌بندی داده‌ها به بخش‌های مختلف یک تسک تصویرسازی حرکتی که باعث تحلیل آسان‌تر می‌شود.

۵. اصلاح Baseline: حذف تغییرات Baseline با کم کردن میانگین دامنه سیگنال از آن.

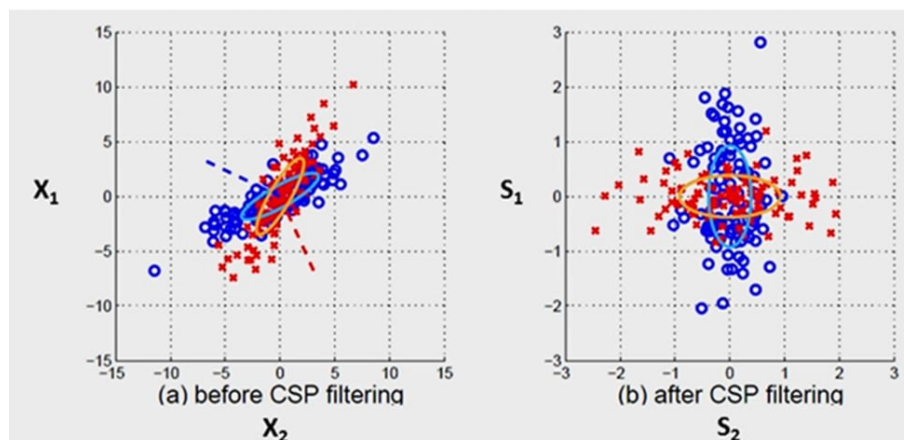
۴ تکنیک‌های استخراج ویژگی

علاوه بر مواردی که در قسمت قبل از آن‌ها نام برده شد، روش‌های دیگری نیز برای استخراج ویژگی از سیگنال‌های EEG وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

❖ شبکه‌های عصبی (مانند Convolutional Neural Networks و Recurrent Neural Network) برای آموزش داده‌ها در حوزه زمان عملکرد مناسبی دارند. موارد دیگر مانند SVM، Short-Time Fourier Transform و تبدیل هیلبرت-هوانگ نیز در این زمینه کاربرد دارند.

❖ یکی از الگوریتم‌های موفق در این حوزه، الگوریتم CSP است. الگوی مکانی مشترک (Common Spatial Pattern - CSP) یک تکنیک پرکاربرد در زمینه پردازش سیگنال‌های زیست‌پزشکی است و در حوزه‌های مختلف، به ویژه در صنعت بهداشت و درمان، به طور گسترده استفاده می‌شود. CSP یک تکنیک فیلترگذاری مکانی است که برای استخراج ویژگی‌ها از سیگنال‌های زیست‌پزشکی چند کاناله مانند EEG یا MEG به کار می‌رود. هدف CSP یافتن مجموعه‌ای از فیلترهای مکانی است که بتوانند بیشترین تمایز را بین دو کلاس داده را ایجاد کنند. و این کار را، با مینیمم کردن واریانس برای یک کلاس داده (مثلاً حرکت دست راست)، و ماکسیمم کردن واریانس برای کلاس دیگر (مثلاً حرکت دست چپ) انجام می‌دهد. پایه ریاضی CSP بر مبنای جبر خطی و روش‌های آماری چند متغیره است. CSP شامل تبدیل داده‌های EEG از حوزه زمانی به حوزه مکانی با استفاده از یک فیلتر مکانی است. این فیلتر مکانی به داده‌های EEG چند کاناله اعمال می‌شود تا واریانس سیگنال یک کلاس را افزایش یافته و برای کلاس دیگر کاهش یابد. این فرآیند منجر به تولید ویژگی‌های جدید (اجزاء) می‌شود که ترکیب‌های خطی از کانال‌های اصلی هستند. هدف از فیلتر مکانی یافتن مجموعه‌ای از وزن‌های مکانی است که حداکثر تمایز را بین دو یا چند کلاس داده‌های EEG ایجاد کند.

برای مثال در شکل زیر، توزیع داده‌ها قبل و بعد از اعمال فیلتر CSP به تصویر کشیده شده که مشاهده می‌شود تفکیک پذیری داده‌ها بعد از اعمال فیلتر افزایش یافته و همبستگی آن‌ها کمتر شده است.



شکل ۱.۴: توزیع داده‌ها قبل و بعد از اعمال فیلتر CSP

فیلتر مکانی استفاده شده در CSP معمولاً با حل یک مسئله مقدار ویژه محاسبه می‌شود. مسئله مقدار ویژه شامل یافتن بردارهای ویژه یک ماتریس است که حداکثر تمایز را بین دو کلاس داده‌های EEG ایجاد می‌کند. این فرآیند شامل محاسبه بردارهای ویژه ماتریس‌های کواریانس ترکیبی دو کلاس است. این بردارهای ویژه (فیلترهای مکانی) سیگنال‌های EEG را به فضای جدیدی پرتاب می‌کنند که در آن کلاس‌ها بهینه‌ترین جداسازی را از نظر واریانس دارند. به عبارت دیگر، فیلترهای مکانی حاصل اساساً مجموعه‌ای از وزن‌ها هستند که می‌توان به داده‌های EEG اعمال کرد تا مجموعه‌ای جدید از داده‌های فیلتر شده مکانی به دست آید که تفاوت‌های بین دو کلاس را برجسته‌تر می‌کند. روش CSP می‌تواند با اعمال فیلترگذاری مکانی به هر دو داده‌های اصلی EEG و داده‌های فیلتر شده مکانی بهینه‌تر شود. این منجر به مجموعه‌ای از فیلترهای مکانی می‌شود که می‌توانند الگوهای مکانی فعالیت مغزی مرتبط با حالات شناختی یا وظایف خاص را استخراج کنند. از جمله کاربردهای CSP در پردازش سیگنال‌های EEG، می‌توان به تشخیص صرع و طبقه‌بندی مراحل خواب اشاره کرد. از مزایای این الگوریتم می‌توان به قدرت زیاد در متمایزسازی داده‌ها، الگوریتم‌های محاسباتی نسبتاً ساده و کارآمد، و قابلیت بالای انطباق آن بر باندهای فرکانسی و پنجره‌های زمانی متفاوت اشاره کرد. از معایب آن نیز می‌توان به حساس بودن به نویز، غیرایستا بودن (داده‌هایی که در طول زمان تغییر می‌کنند را نمی‌توان به درستی مدیریت کنند) و بیش‌برازش (اگر ابعاد داده‌ها زیاد باشد یا تعداد داده‌ها کم باشد) اشاره کرد.