# فصل دوم

**بنیادهای نظری یادگیری جنبشی و رویکردهای رایانشی در موسیقی**

# بنیادهای نظری یادگیری جنبشی و رویکردهای رایانشی در موسیقی

در این بخش، به بررسی بنیادهای نظری یادگیری در بدن انسان، به‌ویژه یادگیری حرکتی، پرداخته می‌شود. همچنین، چگونگی یادگیری یک ساز موسیقی به صورت عمیق‌تر مورد کاوش قرار گرفته و رویکردهای سنتی و نوین در شبیه‌سازی رایانشی این روند بررسی خواهد شد ‎[[16]](#OLE_LINK22). هدف این فصل، فراهم آوردن یک چهارچوب نظری جامع برای درک همبستگی‌های پیچیده‌ی میان فرآیندهای عصبی-شناختی انسان در یادگیری موسیقی و مدل‌سازی رایانشی آن است تا زمینه برای معرفی یک روش یادگیری شخصی‌سازی‌شده فراهم گردد منظور از یک روش شخصی‌سازی شده، یک نقشه‌ی راه مطمئن و سریع است که بتواند به هرکسی با توجه به پیشینه‌ی خود کمک کند .

# ۲.۱. چگونگی یادگیری در بدن انسان (از ابتدا تا استادی)

یادگیری در بدن انسان یک روند دشوار و چندسویه است که بیشتر به دست مغز و سامانه عصبی انجام می‌شود، اما سازگاری‌ها و دگرگونی‌هایی را در سراسر بدن، به‌ویژه در ماهیچه‌ها، در بر می‌گیرد، زمانی که از یادگیری یک ساز صحبت می‌کنیم این عضلات محدود به عضلات دست‌ها و گاهی عضلات شانه می‌شوند. مفهوم «حافظه‌ی عضلانی» (Muscle Memory) یک بخش بنیادی از این یادگیری است که به دقت و توان بدن در پیاده‌سازی حرکات به صورت ناخودآگاه و به صورت درست پس از تکرار بسیار اشاره دارد [[16]](#OLE_LINK22) .

خود واژه‌ي «حافظه‌ی ماهیچه‌ای» در اصل معنا ندارد؛ زیرا در حقیقت خود ماهیچه‌ها، «حافظه» ندارند. در اصل، یادگیری ناخودآگاه انسان که در حرکات ماهرانه مانند نواختن پیانو دیده می‌شود، به دلیل یادگیری حرکتی است که در مغز انجام می‌شود [[۱۷]](#OLE_LINK23). یادگیری حرکتی به این مفهوم که شامل بدون تفکرسازی روند اجرا و استادانه کردن آن است، به عنوان یادگیری‌های عمیق‌تر در ذهن ثبت می‌شود. این یادگیری شامل دگرگونی‌های ساختاری در نورون‌ها است که امکان نگهداری داده‌های نوین را در مغز برای زمانی طولانی‌تر فراهم می‌کند [[۱۸]](#OLE_LINK24). در پژوهش‌های انجام شده، به این نکته اشاره شده است که یادگیری حرکتی در نوازندگی، یک روند حسی- جنبشی (Sensorimotor) است که با ورزیدگی و بازگویی، شبکه‌های عصبی مغز را بازآرایی کرده و باعث بهبود کارآیی و صحت می‌شود [[۱۸]](#OLE_LINK24). چگونگی کارکرد آن به بخش‌های زیادی مرتبط است:

#### ۲.۱.۱. مکانیسم‌های عصبی بنیادین یادگیری حرکتی

فرآیند یادگیری حرکتی یک رخداد پیچیده است که چندین ناحیه‌ی مغزی به صورت هماهنگ در آن شرکت دارند. این نواحی مسئول برنامه‌ریزی، پیاده‌سازی و تمیز دادن حرکات هستند:

* **پوسته‌ی جنبشی :(Motor Cortex)** این ناحیه در بخش جلوی مغز، آغازگر حرکات ارادی است [[۱۹]](#OLE_LINK25). در آغاز یادگیری، برای هر ریزه‌کاری (مانند جای‌گذاری یک انگشت روی کلاویه) یک ناحیه‌ی ویژه در این پوسته مسئول انجام فعالیت می‌شود. با تکرار و تمرین عضلات و سیناپس‌ها، نمایش حرکتی در پوسته‌ی جنبشی کارآمدتر شده و نواحی کمتری برای پیاده‌سازی همان حرکت نیاز است، که به ناخودآگاه‌سازی حرکت می‌انجامد.
* **مخچه : (Cerebellum)** مخچه نقش کلیدی در یادگیری جداسازی حرکات، هماهنگی و زمان‌بندی حرکات دارد، زمان‌بندی در نواختن یک ساز شامل درگیر کردن بخش‌های چپ و راست مغز خواهد بود [[۲۰]](#OLE_LINK26). این بخش مغز به عنوان یک «مدل پیشگو» عمل می‌کند و با دریافت هم‌زمان داده‌های حسی (آنچه می‌شنوید یا حس می‌کنید) و فرمان‌های جنبشی (فرمانی که به ماهیچه‌ها فرستاده می‌شود)، نادرستی‌های موجود در حرکت را پیش‌بینی و آن را تصحیح می‌کند [[۲۱]](#OLE_LINK27). برای نمونه، هنگام نواختن یک نت نادرست، مخچه به سرعت تفاوت میان صدای مورد انتظار و صدای شنیده شده را می‌یابد و به پوسته‌ی جنبشی فرمان خطا را می‌فرستد، در اصل فرمان خطا در خود مخچه پردازش می‌شود، اما چون پوسته حرکتی مسئول فرمان نواختن است، فرمان خطا باید برای او هم ارسال شود تا تصحیح صورت بگیرد.
* **هسته‌های قاعده‌ای (Basal Ganglia):** این بخش برای یکدست سازی نوازندگی بدون فکر کردندارای اهمیت است، بخشی که تئوری پروژه‌ی ما برروی آن بنا نهاده شده این هسته است [[۲۱]](#OLE_LINK27) . هسته‌های قاعده‌ای در گزینش و آغاز حرکات درست و جلوگیری از حرکات نادرست نقش دارند. با ورزیدگی، این بخش‌ها مسئول «اتوماتیک سازی» حرکات می‌شوند، به گونه‌ای که دیگر نیاز به اندیشیدن آگاهانه به هر گام حرکت نیست. برای همین بداهه نوازی در ابتدای یادگیری مهم است، زمانی که شما ناآگاهانه شبیه آهنگسازی می‌نوازید، در نهایت موتور یادگیری شما در آن سبک بهتر عمل می‌کند و می‌توانید راحت تر آهنگ‌های آن آهنگساز را بنوازید. در این صورت تکنیک‌های شما با تلاش بسیار کمتری بهبود می‌یابند.

#### ۲.۱.۲. انعطاف‌پذیری عصبی (Neuroplasticity) و دگرگونی‌های ساختاری

بنیاد یادگیری در سطح سلولی، «انعطاف‌پذیری عصبی» است. این واژه به توانایی مغز برای تغییر ساختارهای از پیش ساخته شده و واکنش خود در پاسخ به تجربه‌ها اشاره دارد [[۲۲]](#OLE_LINK28). در روند یادگیری حرکتی، دو سازوکار اصلی رخ می‌دهد:

* **نیرومندسازی سیناپسی:** هنگامی که دو نورون پیوسته با هم کنشگر می‌شوند، پیوند میان آن‌ها (سیناپس‌ها) نیرومندتر می‌شود. این رخداد که به آن «پایداری دیرپا» (Long-Term-Potentiation) می‌گویند، به مغز اجازه می‌دهد تا یادگیری را در خود نگه دارد [[۲۳]](#OLE_LINK29). در یادگیری پیانو، هر بار که یک توالی نت را می‌نوازید، پیوندهای عصبی مربوط به آن توالی نیرومندتر می‌شود.
* **هَرس سیناپسی:** هم‌زمان با نیرومندسازی پیوندهای پرکاربرد، مغز پیوندهای عصبی کم‌کاربرد را «هرس» می‌کند. این روند به کارآیی بیشتر شبکه عصبی کمک می‌کند و باعث می‌شود مغز بتواند کارها را با کوشش کمتری انجام دهد [[20]](#OLE_LINK25).

دگرگونی ساختاری که در اصل با یادگیری متغییر متفاوت به وجود می‌آید بسیار دشوارتر از یادگیری ساختاری است که مغز تا به حال آن را ندیده‌ است. در اصل ساختن پیوند سیناپسی جدید که با قبل بسیار متفاوت باشد، سخت‌تر از یادگیری از نو است. برای همین شروع یادگیری از جای درست برای هر فرد، ضرورت دارد.

#### ۲.۱.۳. انواع حافظه در یادگیری حرکتی

یادگیری حرکتی تنها وابسته به یک نوع حافظه نیست، بلکه چندین شکل حافظه را در بر می‌گیرد:

* **حافظه آشکار (Declarative Memory):** این حافظه مربوط به یادآوری آگاهانه داده‌ها است. برای نمونه، یادآوری نام نت‌ها یا انگشت‌گذاری‌های درست برای یک آکورد [[۲۴]](#OLE_LINK30). در آغاز یادگیری، حافظه‌ی آشکار نقش کلیدی دارد، اما با پیشرفت، نقش آن کمرنگ‌تر می‌شود.
* **حافظه رویه‌ای (Procedural Memory):** این حافظه مربوط به یادگیری مهارت‌ها و عادت‌ها است که به گونه ناخودآگاه انجام می‌شود. نواختن پیانو بدون اندیشیدن به هر نت، نمونه‌ای از حافظه رویه‌ای است [[۲۴]](#OLE_LINK30). در واقع، «حافظه عضلانی» همان حافظه رویه‌ای است. عادت‌ها، بخش‌های مختلف زندگی ما را می‌سازند، گاهی با عادت کردن به یک ورزش نحوه‌ی برخورد ما با مسائل روزمره تغییر پیدا می‌کند،‌ این موضوع، ذات یادگیری و قوت سیناپسی را به ما نشان می‌دهد.

# ۲.۲. چگونگی یادگیری نواختن یک ساز : سه مرحله‌ اصلی توسعه

روند یادگیری یک ساز موسیقی را می‌توان به سه گام اصلی بخش کرد که شباهت زیادی به یک سامانه کنترلی با فیدبک دارد [[۲۵]](#OLE_LINK31) . این روند، سفر یک هنرجو را برای یادگیری نشان می‌دهد :

#### ۲.۲.۱. گام نخست: آغاز دشوار و هوشمندانه

در آغاز یادگیری، هنرجو باید برای هر بخش از روند نواختن، اندیشه و کوشش بسیاری صرف کند[[۲۴]](#OLE_LINK30) :

* **یادگیری شناختی و ادراک مفاهیم:**  مغز باید بنیادهای موسیقی مانند نام نت‌ها، ریتم و ساختار ساز را یاد بگیرد. این بخش از یادگیری، کاملاً تلاش محور است و به فکر نیاز دارد[[21]](#OLE_LINK26) .
* **هماهنگی حسی-جنبشی ابتدایی:**  در این مرحله، یک حلقه‌ی با فیدبک میان بخش‌های گوناگون حس و حرکت برقرار است:
  + **ورودی دیداری:**  چشم‌ها نت‌ها را روی برگه موسیقی می‌بینند.
  + **پردازش مغزی:**  مغز این نت‌ها را به دستورهای حرکتی برای انگشتان، دست‌ها و بازوها برمی‌گرداند.
  + **خروجی جنبشی:**  ماهیچه‌ها تلاش می‌کنند تا این دستورها را پیاده‌سازی کنند. در این بخش به کوچک‌ترین مسائل حتی شامل کنترل قدرت انگشت کوچک واکنش نشان داده خواهد شد.
  + **بازخورد حسی:**  گوش‌ها صدایی را که ساخته می‌شود می‌شنوند، و حس لامسه جایگاه اندام‌ها را گزارش می‌دهد که به آن بازخورد درونی یا proprioceptive می‌گویند[]۲۶[](#OLE_LINK32).
  + **تصحیح خطا:**  مغز بازخورد را با آنچه انتظار داشت می‌سنجد و دستورها را برای تلاش بعدی تصحیح می‌کند. این حلقه «تلاش-خطا-تصحیح» در آغاز یادگیری بسیار کلیدی است. گاهی به دلیل ساختار بدنی یا تجربه‌های پیشین، خطا و در ادامه تصحیح کم‌تری رخ می‌دهد. بنابراین بررسی تجربه‌های پیشین در روند یادگیری مفید خواهد بود.

#### ۲.۲.۲. گام دوم: ورزیدگی و ناخودآگاه سازی نواختن

با عادت و تلاش، حافظه‌ی عضلانی به‌ وجود می‌آید. این گام، که با «ورزیدگی هوشمندانه»- (Deliberate Practice) به فرجام می‌رسد، به بدون تلاش و فکر نواختن می‌انجامد:

* **اقتصاد مغزی و کاهش کوشش فکری:**  مغز شروع به یافتن کارآمدترین و سریع‌ترین راه‌ها برای پیاده‌سازی حرکت می‌کند. نورون‌ها و راه‌های افزوده که در آغاز برای «اندیشیدن» به هر بخش حرکت به کار می‌رفتند، کم‌کم از گردونه خارج می‌شوند. این رخداد باعث می‌شود تا انرژی فکری کمتری برای پیاده‌سازی حرکت صرف شود. در این مرحله است که نیرومندسازی سیناپسی هرچه بیشتر رخ می‌دهد[[۲۷]](#OLE_LINK33).

#### ۲.۲.۳. گام سوم: تسلط و خودگردان‌سازی کامل

با ورزیدگی و تلاش کافی، حرکات به گام «اتوماتیک‌سازی» می‌رسند که همان حافظه عضلانی است. در این گام:

* **کاهش نیاز به اندیشه:**  دیگر نیاز نیست در هنگام نواختن به تک‌تک انگشتان یا جایگاه آن‌ها فکر کنید؛ دست‌ها بدون زحمت و فکر، با هوشمندی شروع حرکت می‌کنند. این رخداد همان چیزی است که به شما امکان می‌دهد هم‌زمان با نواختن، آواز بخوانید، بداهه‌نوازی کنید یا با دیگر نوازندگان هم‌نوازی کنید.
* **بهبود شتاب و درستی:** حرکات تندتر، روان‌تر، درست‌تر و بدون درنگ و اشتباه انجام می‌شوند []۲۸[](#OLE_LINK34).
* **کاهش خستگی فکری:** از آنجایی که مغز دیگر ناچار نیست هر بخش کوچک را به گونه‌ای جداگانه و خاص پردازش کند، خستگی فکری کمتری رخ می‌دهد [[20]](#OLE_LINK25).

# ۲.۳. شبیه‌سازی‌ یادگیری موسیقی با الگوریتم‌های کامپیوتری در گذشته

پیش از پیدایی یادگیری عمیق، رویکردهای شبیه‌سازی یادگیری موسیقی در انسان بیشتر بر پایه روش‌های زیر بودند. این روش‌ها با اینکه بنیادهای پژوهش‌های کنونی را ساختند، اما به دلیل محدودیت‌های اساسی، برای بیان پیچیدگی‌های موسیقی ناکافی بودند.

#### ۲.۳.۱. الگوریتم‌های وابسته به دستورات

در این الگوریتم‌ها، برنامه‌نویسان دستورهایی پابرجا برای ساخت موسیقی به کار می‌بردند [[۲۹]](#OLE_LINK35). برای نمونه، می‌توانستند دستورهایی مانند «پس از یک آکورد مشخص، نت گام بعدی را بنواز» را تعریف کنند. این روش در موسیقی‌هایی با ساختار ثابت، مانند موسیقی‌های دوره باروک، تا اندازه‌ای پذیرفتنی بود. با این حال، سه مشکل اساسی داشت:

* **سختی و زمان‌بری:** تعریف دستورها برای همه‌ی ساختارها و سبک‌های موسیقی کاری بسیار سخت و زمان‌بر بود.
* **نداشتن انعطاف‌پذیری:** این الگوریتم‌ها در برابر الگوهای نوین و سبک‌های تازه هیچ انعطافی نداشتند. دربرابر قطعه‌ای که شامل چند نوع از ساختار باشد، این روش کار به جایی نمی‌برد.
* **ناتوانی در دریافت ویژگی‌ها:** این الگوریتم‌ها نمی‌توانستند ریزه‌کاری‌ها و استثنائات هنری موسیقی را دریافت کنند و آن‌ها را از هم تمیز دهند.

#### ۲.۳.۲. مدل‌های آماری ساده (مانند مدل مارکوف)

یکی دیگر از رویکردهای قدیمی، استفاده از مدل‌های آماری مانند مدل مارکوف بود [[۳۰]](#OLE_LINK36). در این مدل، پیش‌بینی نت بعدی تنها بر پایه نت‌های پیشین (برای نمونه، دو یا سه نت پیشین) انجام می‌شد. این مدل‌ها با اینکه از مدل‌های وابسته به دستورها بهتر بودند، اما به دلیل محدودیت در دریافت وابستگی‌های گذشته‌تر، بسیار نادقیق و انعطاف‌ناپذیر بودند. برای نمونه، نمی‌توانستند ساختار کلی یک قطعه را درک کنند، یا اینکه چرا در یک بخش از موسیقی باید به جای فرود، اوج گرفته شود.

#### ۲.۳.۳. شبکه‌های عصبی سنتی

این شبکه‌ها، که در واقع شبکه‌های عصبی با شمار کمی از لایه‌های پنهان بودند، در راستای همسان‌سازی یادگیری موسیقی به کار رفتند . با این که این روش در پایان از دو روش پیش بهتر بود، اما یادگیری آن ناچیز بود و ریزه‌کاری‌های یک یادگیری واقعی را پیاده‌سازی نمی‌کرد [[۳۰]](#OLE_LINK36). علاوه بر این، برای رسیدن به نتایج مناسب، پیش‌پردازش‌های فراوان و بیرون‌کشیدن دستی ویژگی‌ها (مانند تعداد آکوردها یا شتاب نواختن) را نیاز داشت که از نحوه‌ی یادگیری واقعی انسانی دور بود. این مشکل زمانی باعث خطا می‌شد که با داده‌های بزرگ و پیچیده روبرو بودیم، داده‌ها در موسیقی به دلیل بافت خاص همواره شامل دشواری هستند.

# ۲.۴. شبیه‌سازی یادگیری موسیقی با یادگیری عمیق

شبیه‌سازی یادگیری، آهنگ‌سازی و تحقیقات در حوزه موسیقی با پیدایی یادگیری عمیق دگرگون شده است. برخلاف هوش مصنوعی سنتی، ساختارهای یادگیری عمیق توانایی‌های درونی دارند که روندهای شناختی انسان در یادگیری و پرورش داده‌های دشوار، توالی‌محور و رده‌بندی‌شده مانند موسیقی را به طور دقیق شبیه‌سازی ‌کنند [[۳۱[](#OLE_LINK37).

#### ۲.۴.۱. یادگیری خودگردان ویژگی‌های رده‌بندی‌شده (Representation Learning)

یکی از برجسته‌ترین مزایای یادگیری عمیق، توانایی آن در یادگیری اتوماتیک‌سازی شده ویژگی‌ها از داده‌های خام است. این کار به مهندسی ویژگی دستی نیازی ندارد و به مدل اجازه می‌دهد تا بافت‌های پیچیده و ریزبینانه را کشف کند که استخراج دستی آن توسط انسان دقت کم‌تری را همراه دارد. این نحوه‌ی یادگیری شبیه به چگونگی آموختن ناخودآگاه الگوهای دشوار موسیقی به دست یک نوازنده بدون نیاز به توجه زیاد هر دستور است[]۳۱[](#OLE_LINK37).

* **شبکه‌های عصبی پیچشی (CNNs):** در بررسی داده‌های آوایی (مانند مل‌اسپکتروگرام)، لایه‌های نخستین یک CNN ویژگی‌های آوایی در سطح پایین (مانند فرکانس‌ها و هارمونیک‌ها) را می‌آموزند. لایه‌های میانی این ویژگی‌ها را برای شناسایی الگوهای دشوارتر مانند تمبر ساز یا بخش‌های کوتاه موسیقیایی ترکیب می‌کنند و لایه‌های پایانی می‌توانند الگوهای انتزاعی مانند سبک موسیقی یا ساختار کلی قطعه را بشناسند[]۳۲[](#OLE_LINK38).
* **شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNNs):** این شبکه‌ها برای پردازش داده‌های توالی‌محور مانند موسیقی بسیار کارآمد هستند. به ویژه، گونه‌های پیشرفته آن‌ها مانند LSTM و GRU می‌توانند وابستگی‌های ژرف را در یک قطعه موسیقی دریافت کنند، که برای ساخت نغمه‌ها کلیدی است []۳۲[](#OLE_LINK38). ساختن قطعات از میان داده‌های زیادی که درباره‌ی موسیقی در دسترس است کار بسیار دشواری است که به مفهوم عمیق یادگیری اشاره دارد. شبکه‌های عصبی بازگشتی در کنار توانایی برای درک پیچیده‌ترین الگوها، می‌توانند برای بازسازی قطعاتی که بخشی از آن‌ها در گذر زمان از دست رفته نیز کمک کننده باشند[]۳۳](#OLE_LINK38)[[](#OLE_LINK38).

#### 2.4.2. ساخت نغمه‌ها و هم‌نوازی‌های هماهنگ

مدل‌های یادگیری عمیق با دریافت چگونگی پرورش الگوهای موسیقایی در گذر زمان، می‌توانند قطعات‌ و هم‌نوازی‌هایی بسازند که هم در سطح بومی دلنشین و هم در سطح کلی هماهنگ باشند. این توانایی به مدل‌های یادگیری عمیق اجازه می‌دهد تا توانایی انسان در دنبال کردن یک گفتار موسیقایی، دریافت کشش و رهایی، و فهم چگونگی یاری‌رسانی دم‌های موسیقایی یکتا به یک ساختار بزرگ‌تر را همسان‌سازی کنند . [[34]](#OLE_LINK39)

#### 2.4.3. الگوبرداری بیان موسیقی و ریزه‌کاری‌های آهنگسازی

مدل‌های یادگیری عمیق می‌توانند پیوندهای ناواضح و تغییرات جزئی در داده‌ها را یاد بگیرند. با داده‌های آموزشی کافی، آن‌ها می‌توانند بیان ریزبینانه در پیاده‌سازی‌های انسانی را ثبت کنند. این کار فراتر از تنها ساخت نت به نت رفته و بخش‌های هنری و عاطفی موسیقی را شبیه‌سازی می‌کند که برای «یادگیری» راستین موسیقی کلیدی هستند. مدل‌هایی مانند VAE (Variational Autoencoders) و GAN (Generative Adversarial Networks) می‌توانند اجراهایی بسازند که تنها از نت‌های درست بهره نمی‌برند، بلکه دگرگونی‌های زمان‌بندی (روباتو)، دینامیک و آرتیکولاسیون شبیه به انسان را نیز در بر می‌گیرند[[۳۴]](#OLE_LINK39).

# ۲.۵. ویژگی‌های سبک‌شناختی آهنگسازان و «آماده‌سازی سبک‌شناختی»

یکی از بنیادهایی که در این پژوهش به آن پرداخته می‌شود، ویژگی‌های درونی‌ای است که آهنگ‌ها با توجه به آهنگسازشان دارند [[34]](#OLE_LINK39). این ویژگی‌ها با نام «اثر انگشت یک آهنگساز»- (composer’s fingerprint) شناخته می‌شوند که می‌تواند یک راه‌کار کارآمد برای یافتن آهنگساز یک قطعه باشد. این مفهوم که به آن اثر انگشت گفته می‌شود، یک نمایش پیچیده از ویژگی‌های موسیقایی مانند پیشرفت‌های هارمونیک، الگوهای ریتمیک، و ساختار نغمه‌ای است که به طورویژه به یک آهنگساز وابسته است [[۳۵]](#OLE_LINK40).

#### ۲.۵.۱. آمادگی سبک‌شناختی

یادگیری یک ساز موسیقی برای هر فرد، به‌ویژه برای یک هنرجوی مبتدی، مسیری پرچالش است. یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند این مسیر را هموارتر و سرعت یادگیری را افزایش دهد، آمادگیسبک‌شناختی است. این مفهوم به انتخاب محتوای آموزشی (مانند قطعات موسیقی) بر اساس پیشینه ذهنی، تجربیات قبلی، و سبک فکری هنرجو اشاره دارد. هنگامی که یک هنرجو با سبکی از موسیقی یا قطعه‌ای مواجه می‌شود که با علایق و تجربیات پیشین او همخوانی دارد، مغز او به شکل بهینه‌تری آن را پردازش می‌کند و فرایند یادگیری عمیق‌تر و پایدارتر خواهد بود . از نظر زیستی در مورد بدن انسان این موضوع در بخش‌های قبل بررسی شد، اما لازم است بدانیم که تمامی بخش‌های حسی-حرکتی انسان در نهایت می‌توانند با تلاش کم‌تر ما را به بهترین نتیجه برسانند[[۳۵]](#OLE_LINK40).

این همخوانی شناختی به هنرجو امکان می‌دهد که به‌جای درگیر شدن با مفاهیم کاملاً جدید و بیگانه، از پایه‌های شناختی موجود خود برای فهم و اجرای قطعه بهره ببرد[[۳۶]](#OLE_LINK41). برای مثال، فردی که سال‌ها به موسیقی کلاسیک غربی گوش سپرده، در یادگیری یک قطعه از باخ یا موتزارت در مقایسه با فردی که سابقه ذهنی‌اش با موسیقی بلوز یا جاز شکل گرفته، موفق‌تر عمل خواهد کرد. این به‌معنای محدود کردن خود به یک سبک نیست، بلکه استفاده هوشمندانه از نقطه شروع است. این رویکرد به‌ویژه در مراحل اولیه یادگیری از ناامیدی و فرسودگی هنرجو پیشگیری کرده و انگیزه او را برای ادامه مسیر ارتقا می‌بخشد [[۳۷]](#OLE_LINK42).

انتخاب سنجیده آهنگساز و قطعات او بر اساس سبک فکری هنرجو، نه‌تنها یادگیری را تسریع می‌کند، بلکه مسیر رسیدن به مرحله استادی را نیز تسهیل می‌سازد. هنرجویی که با سبک مورد علاقه و نزدیک به خود شروع می‌کند، ارتباط عمیق‌تری با موسیقی برقرار کرده و مهارت‌های خود را با انگیزه‌ای درونی توسعه می‌دهد [[۳۷]](#OLE_LINK42). در نهایت، این فرایند به او کمک می‌کند تا سبک شخصی خود را کشف کرده و به یک نوازنده یا آهنگساز متمایز تبدیل شود. از این رو، اساتید موسیقی و مربیان باید با شناخت دقیق از پیشینه و شخصیت هنرجویان خود، آن‌ها را در انتخاب مسیر صحیح و مناسب یاری رسانند.

#### ۲.۵.۲ آمادگی سبک‌شناختی و بهینه‌سازی مغز

«آماده‌سازی سبک‌شناختی» (Stylistic Priming)، که توضیح داده شد باعث می‌شود اگر یک هنرجوی تازه‌کار پیانو، نخستین مواجهه خود را با آهنگی داشته باشد که به ویژگی‌های موسیقیایی خود شباهت بیشتری دارد، بنوازد، یادگیری بخش‌های بعدی از همان آهنگساز تندتر و کارآمدتر خواهد بود. با بهبود تکنیک نواختن این یادگیری در مواجهه با آهنگسازان جدید باعث بوجود آمدن الگویی آسان‌تر برای یادگیری اثر انگشت‌های مختلف خواهد شد. این رخداد به این دلیل است که مغز با تکرار الگوهای سبک‌شناختی در همان بخش، یک «الگوی سبک‌شناختی » (Stylistic Schema) هماهنگ و قوی را می‌سازد [[34]](#OLE_LINK38).

این الگو به مغز کمک می‌کند تا از راه سازوکارهای زیر، یادگیری بخش‌های بعدی را آسان‌تر کند:

* **کاهش فشار شناختی:** با نیرومندسازی شبکه‌های عصبی به هم پیوسته، مغز نیازی به ساخت یک الگوی کاملاً نوین برای هر بخش ندارد، بلکه می‌تواند از الگوی موجود بهره ببرد .
* **یادگیری پنهان:** مغز، می‌تواند بدون نیاز به آموزش جدید، الگوهای دشوار موسیقی را جذب می‌کند . نواختن یک بخش با «اثر انگشت» یک آهنگساز، باعث می‌شود مغز به گونه ناخودآگاه، دستورهای اصلی سبک او را درونی‌سازی کند [[34]](#OLE_LINK38).
* **بهبود پیوستگی حسی-جنبشی:** نواختن یک بخش با سبک پایدار، باعث نیرومندسازی پیوند بین سامانه‌های شنوایی و جنبشی مغز می‌شود . این اتفاق یک یادگیری عمیق‌تر از زبان موسیقایی آن آهنگساز به‌وجود آورده و به بهبود پیاده‌سازی اتوماتیک و بدون تفکر کمک می‌کند .

# ۲.۶. نتیجه‌گیری فصل دوم

در این فصل، توضیحاتی از پایه‌های زیستی یادگیری جنبشی در مغز انسان ارائه شد و با فرآیندهای پیچیده‌ی یادگیری یک ساز موسیقی ترکیب شد. یادگیری موسیقی یک روند حسی-حرکتی است که با انعطاف‌پذیری عصبی، ساختارهای مغزی گوناگون را درگیر می‌کند و از یک حرکت دشوار و نیاز به تفکر به یک حرکت بدون فکر و اتوماتیک می‌رسد.

سپس، رویکردهای قدیمی و جدید در شبیه‌سازی کامپیوتری این فرآیند بررسی شد. مشخص شد که یادگیری عمیق با توانایی‌های خود در یادگیری خودگردان ویژگی‌ها، دریافت وابستگی‌های توالی‌محور و الگوبرداری از ریزه‌کاری‌ها، یک گام بزرگ از روش‌های سنتی جلوتر است و شبیه‌سازی‌های نزدیک‌تری به فرآیندهای شناختی انسان انجام می‌دهد.

در نهایت، مفاهیم «اثر انگشت یک آهنگساز» و «آماده‌سازی سبک‌شناختی» را مطرح کردیم که یک فرضیه بنیادی برای پژوهش کنونی است. این فصل نشان می‌دهد که فراهم آوردن یک مسیر یادگیری شخصی‌سازی‌شده بر پایه سبک‌های موسیقایی، می‌تواند به بهبود یادگیری در نوازندگان تازه‌کار یاری رساند. این بنیادهای نظری، زمینه‌ای برای گام بعدی، یعنی طراحی و پیاده‌سازی یک سامانه‌ی هوشمند برای پیشنهاد مسیر یادگیری شخصی‌سازی‌شده، فراهم می‌سازد.