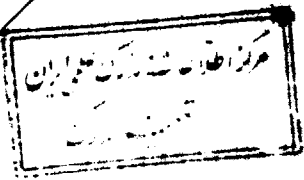


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٢٩٥-٧



به نام خدا

دانشکده مهندسی پزشکی

**تشخیص اراده حرکت از سیگنال‌های مغزی  
با استفاده از شبکه‌های عصبی**

نگارش:

سعید مقدس

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی پزشکی - گرایش بیوالکتریک

استاد راهنما:

دکتر عباس عرفانیان امیدوار

۱۰۲/۲

آبان ۱۳۷۷

۲۶۵۰۷



تقدیم به :

# پدر و مادر عزیز و فداکارم



## چکیده

هنگامیکه شخصی تصمیم به انجام یک عمل ارادی اعم از فیزیکی یا فکری می‌گیرد، از لحظه اراده عمل تا هنگام اجرای آن، پتانسیل‌های برانگیخته‌ای بر روی قشر مغز پدیدار می‌شوند. هر عملی، پتانسیل‌های برانگیخته مربوط به خود را دارا است. در مورد حرکات ارادی، این پتانسیل‌ها را پتانسیل‌های حرکتی می‌نامند. این پتانسیل‌ها توسط ناحیه تکمیلی حرکت قشر مغز تولید شده و شامل اطلاعاتی در مورد حرکت هستند.

هدف ما در این تحقیق، تحلیل و بررسی سیگنال‌های مغزی ناشی از حرکت دست، شامل سه حرکت بستن، باز کردن و عدم حرکت پنجه و سپس طبقه‌بندی این سیگنال‌ها است.

یک روش کلی جهت آشکار کردن تغییرات سیگنال مغزی انسان در هنگام انجام حرکات ارادی، پردازش سیگنال‌های الکتریکی مغزی به منظور آشکار کردن تغییرات سیگنال است. بر این اساس، تعیین مشخصات مناسبی از سیگنال EEG، که با انجام عمل ارادی بتوان تغییراتی را در آنها مشاهده نمود، مورد نیاز است. ما در این تحقیق با استفاده از آنالیزهای زمانی شامل محاسبه متوسط قدر مطلق دامنه و پراش سیگنال و همچنین آنالیزهای فرکانسی شامل محاسبه طیف توان و نسبت توان باند فرکانسی بتا به توان باند فرکانسی آلفا دریافتیم که منابع مولد سیگنال‌های حرکتی مربوط به بستن و باز کردن پنجه دست، کانال‌های F3 و FZ بر روی قشر مغز هستند. با استفاده از دو دسته ویژگی، یک دسته شامل ویژگی‌های حاصل از آنالیز زمانی و فرکانسی و دسته دوم شامل پارامترهای حاصل از آنالیز مدل AR سیگنال مغزی می‌توان تغییرات بوجود آمده در هنگام حرکات ارادی پنجه دست را آشکار نمود. در این تحقیق از دو روش آماری و شبکه‌های عصبی به منظور طبقه‌بندی ویژگی‌های سیگنال‌های حرکتی استفاده شده است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان می‌دهند که روش‌های شبکه عصبی نسبت به روش‌های آماری توانایی بیشتری در جداسازی کلاس‌های حرکتی دارند. همچنین با بکارگیری یک روش جدید در یادگیری الگوهای ورودی، نشان داده می‌شود که این نحوه آموزش نیز می‌تواند توانایی شبکه را در طبقه‌بندی صحیح، بالا ببرد.

در این پایان نامه، ابتدا تحقیقات انجام شده توسط محققین پیشین در زمینه‌های مختلف استفاده از سیگنال‌های مغزی اعم از کلینیکی، کنترل حرکت، ارتباط انسان و ماشین، فرایندهای شناخت و غیره

مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در فصل دوم ماهیت سیگنال‌های مغزی، سیستم اخذ داده و بعضی کاربردهای سیگنال مغزی بررسی می‌شود. در فصل سوم به توضیح پتانسیل‌های حرکتی و شناخت محل‌های مولد سیگنال‌های حرکتی ناشی از حرکت دست می‌پردازیم. در ادامه و در فصل چهارم با استفاده از روش‌های مختلف آنالیز زمانی و فرکانسی، منابع مولد پتانسیل‌های حرکتی ناشی از حرکت دست بر روی قشر مغز را یافته و در فصل پنجم ویژگی‌های سیگنال الکتروانسفالوگرام در هنگام انجام حرکات ارادی را با استفاده از روشهای مختلف از کانال‌های مورد نظر بدست می‌آوریم. در فصل‌های ششم و هفتم به ترتیب روش‌های آماری و شبکه عصبی جهت طبقه بندی سیگنال‌های مغزی، ارائه می‌شود. در پایان و در فصل هشتم، نتایج بدست آمده از این طبقه بندی‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند و بر این اساس نتایج کلی حاصل از این تحقیق مورد بحث و بررسی قرار گرفته و پیشنهاداتی در جهت بهبود ادامه کار آورده می‌شود.

کلید واژه‌ها: حرکت ارادی-پتانسیل‌های برانگیخته-پتانسیل‌های حرکتی- ناحیه تکمیلی حرکت-

شبکه‌های عصبی-طبقه بندی-شناسائی الگو

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر عباس عرفانیان امیدوار که راهنمای اینجانب در انجام پروژه و همینطور تهیه و ارائه این پایان نامه بوده‌اند سپاسگذاری و قدردانی می‌نمایم.

همچنین لازم می‌دانم از کلیه افرادی که مرا در این پروژه یاری داده‌اند سپاسگذاری کنم :

- جناب آقای دکتر منوچهر ایلخانی رئیس بخش الکترونورودیاگنوستیک بیمارستان لقمان حکیم که با همکاری‌های صمیمانه و راهنمایی‌های علمی خود مرا در انجام پروژه یاری نموده‌اند.
  - جناب آقای طالب زاده تکنیسین محترم بخش الکترونورودیاگنوستیک، که در تهیه و ثبت سیگنال‌های مغزی و انجام آزمایش‌های انسانی مرا یاری داده‌اند.
  - اعضاء هیئت داوری، جناب آقای دکتر طباطبا و کیلی و جناب آقای دکتر منوچهر ایلخانی که در جلسه دفاعیه حضور یافته‌اند.
  - آقایان مهندس خلیل زاده و مهندس اعرابی که به اینجانب در نوشتن نرم افزار مربوط به دستگاه اخذ سیگنال مغزی و نرم افزار پروژه کمک کرده‌اند.
- امیدوارم پایان‌نامه حاضر مورد توجه کلیه علاقمندان واقع شود.

## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۱-۲ طراحی سیستمی جهت پیش بینی حرکت در هنگام بیهوشی.....	۴
۱-۳ تخمین بلوغ مغزی با استفاده از شبکه‌های عصبی.....	۵
۱-۴ طبقه بندی فرایند شناخت انسان توسط شبکه‌های عصبی.....	۵
۱-۵ طبقه بندی پاسخ‌های EEG ناشی از حرکت توسط شبکه عصبی.....	۶
۱-۶ تحلیل ارتباط فکر و EEG با استفاده از روش‌های غیر خطی.....	۷
۱-۷ تشخیص درون مجموعه‌ای پتانسیل‌های مرتبط با حرکت به منظور ارتباط مستقیم با مغز.....	۷
۱-۸ تخمین پارامتری پتانسیل‌های مغزی مرتبط با حرکت حاصل از یک آزمون.....	۸
۱-۹ آنالیز فرکانس‌های غالب سیگنال مغزی در هنگام صدمه و بهبودی.....	۹

فصل دوم: بررسی و نحوه ثبت سیگنال‌های الکتریکی مغزی..... ۱۱

۲-۱ مقدمه..... ۱۲

۲-۱-۱ مشخصات عمومی سیگنال مغزی..... ۱۴

۲-۲ خواص آماری سیگنال الکتریکی مغز..... ۱۵

۲-۳ مشخصات امواج مغزی..... ۱۶

۲-۳-۱ امواج دلتا..... ۱۷

۲-۳-۲ امواج تتا..... ۱۷

۲-۳-۳ امواج آلفا..... ۱۸

۲-۳-۴ امواج بتا..... ۱۸

۲-۴ امواج غیر مغزی..... ۱۹

۲-۵ الکترودها و روشهای ثبت سیگنال EEG..... ۲۱

۲-۵-۱ ساختمان الکتروود..... ۲۱

۲-۵-۲ روش یک قطبی..... ۲۱

۲-۵-۳ روش دو قطبی..... ۲۳

۲-۶ محل قرار دادن الکترودها بر روی سر..... ۲۳

۲-۷ کاربردهای سیگنال EEG..... ۲۶

فصل سوم : فیزیولوژی پتانسیل‌های حرکتی..... ۲۷

۳-۱ مقدمه..... ۲۸

۳-۲ قسمت‌های تشکیل دهنده پتانسیل قبل از حرکت..... ۲۹

۳-۲-۱ پتانسیل آمادگی (RP)..... ۳۱

۳-۲-۲ پتانسیل حرکتی (MP)..... ۳۴

۳-۲-۳ مثبت شدن پیش از حرکت (PMP)..... ۳۶

۳-۳ بحث..... ۳۸

فصل چهارم : تعیین منابع پتانسیل‌های حرکتی بر روی قشر مغز..... ۴۱

۴-۱ مقدمه..... ۴۲

۴-۲ نحوه انجام آزمایش انسانی..... ۴۳



۴۶	۴-۳ تعیین محل پتانسیل های حرکتی.....
۴۶	۴-۳-۱ آنالیز در حوزه زمان.....
۵۲	۴-۳-۲ آنالیز در حوزه فرکانس.....
۵۶	۴-۴ نگاشت مغز.....
۵۸	۴-۵ بحث و نتیجه گیری.....
۶۲	<b>فصل پنجم: تغییرات پویایی سیگنال مغزی در هنگام حرکات ارادی.....</b>
۶۳	۵-۱ مقدمه.....
۶۴	۵-۲ استخراج ویژگی های سیگنال EEG.....
۶۴	۵-۲-۱ متوسط قدر مطلق دامنه سیگنال.....
۶۷	۵-۲-۲ مقدار پراش سیگنال.....
۷۰	۵-۲-۳ مقایسه ضرایب همبستگی.....
۷۱	۵-۲-۴ طیف توان سیگنال.....
۷۶	۵-۲-۵ نسبت توان فرکانس بتا به توان فرکانس آلفا.....
۷۷	۵-۳ روش های آنالیز پارامتری.....
۷۸	۵-۳-۱ محاسبه ضرایب مدل AR.....
۸۰	۵-۴ بحث.....
۸۲	<b>فصل ششم: تشخیص اراده حرکت با استفاده از روش های طبقه بندی آماری.....</b>
۸۳	۶-۱ مقدمه.....
۸۷	۶-۲ طبقه بندی به روش K-میانگین.....
۸۷	۶-۲-۱ تعیین مراکز.....
۸۸	۶-۳ استخراج اراده حرکت با استفاده از روش K-میانگین.....
۹۰	۶-۴ بحث.....
۹۱	<b>فصل هفتم: تشخیص اراده حرکت با استفاده از روش های شبکه عصبی.....</b>
۹۲	۷-۱ مقدمه.....
۹۵	۷-۲ دسته بندی کننده های شبکه عصبی و کلاسیک.....
۹۶	۷-۳ پرسپترون تک لایه ای.....

۹۸.....	۷-۴ پرسپترون چند لایه.....
۹۹.....	۷-۵ استخراج اراده حرکت با استفاده از شبکه‌های عصبی.....
۹۹.....	۷-۵-۱ انتخاب بردار ویژگی.....
۱۰۰.....	۷-۵-۲ ساختار شبکه.....
۱۰۰.....	۷-۵-۳ نحوه آموزش شبکه.....
۱۰۱.....	۷-۶ استخراج اراده حرکت با شبکه‌های عصبی و ویژگی‌های AR.....
۱۰۳.....	۷-۷ طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های زمانی-فرکانسی.....
۱۰۳.....	۷-۷-۱ آموزش منظم.....
۱۰۵.....	۷-۷-۲ آموزش منظم با ترکیب‌های مختلف الگوهای آموزشی.....
۱۰۷.....	۷-۷-۳ آموزش تصادفی.....
۱۱۰.....	۷-۸ استخراج اراده حرکت با استفاده از شبکه‌های عصبی چندگانه.....
۱۱۲.....	۷-۱۱ بحث.....
۱۱۳.....	فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۱۴.....	۸-۱ مقدمه.....
۱۱۵.....	۸-۲ منابع پتانسیل‌های حرکتی.....
۱۱۵.....	۸-۳ ویژگی‌های حاصل از سیگنال‌های مغزی در هنگام حرکات ارادی.....
۱۱۶.....	۸-۴ مقایسه عملکرد روش‌های آماری و شبکه عصبی.....
۱۱۸.....	۸-۵ نتیجه‌گیری نهایی.....
۱۱۹.....	۸-۶ پیشنهادات.....
۱۲۱.....	فهرست الفبایی.....
۱۲۶.....	فهرست مراجع.....

## فهرست اشکال

- شکل (۲-۱): موج دلتا..... ۱۷
- شکل (۲-۲): موج تتا..... ۱۸
- شکل (۲-۳): موج آلفا..... ۱۸
- شکل (۲-۴): موج بتا..... ۱۹
- شکل (۲-۵): A. الکتروود دیسکی، B. الکتروود زیر پوستی یا سوزنی، C. الکتروود فنجان‌ی، D. گیره گوش‌ی، E. الکتروود قرصی شکل  $Ag/AgCl$  از نگاه بالا و پایین، F. الکتروود بیوپتانسیل کوچک، G. الکتروود بیوپتانسیل استاندارد، H. الکتروود حلقی دماغی، I. الکتروود تشکی..... ۲۲
- شکل (۲-۶): نحوه اتصال یک قطبی الکتروودها..... ۲۲
- شکل (۲-۷): نحوه اتصال دو قطبی الکتروودها..... ۲۳
- شکل (۲-۸): بالا: سیستم (۱۰-۲۰) بین المللی، پایین: ارتباط بین بخش‌های قشر مغز و موقیت الکتروودها..... ۲۵
- شکل (۳-۱): نمودار پتانسیل‌های پیش از حرکت به صورت نمادین..... ۳۰

شکل (۳-۲): ثبت‌های تک قطبی پتانسیل‌های پیش از حرکت بر روی نواحی مختلف قشر مغز.....۳۲

شکل (۳-۳): نمودارهای ثبت شده دو قطبی پتانسیل‌های حرکتی، پیش از حرکت انگشت نشانه دست

راست، فلش‌ها لحظه شروع حرکت مکانیکی را نشان می‌دهند.....۳۳

شکل (۳-۴): نیمه بالا: مقایسه دامنه پتانسیل آمادگی (P1) و کل پتانسیل پیش از حرکت (P0) در

نواحی مختلف قشر مغز، نیمه پائین: چهار حالت مختلف در رفتار پتانسیل‌های پیش از

حرکت برای اشخاص متفاوت.....۳۴

شکل (۳-۵): داده‌های واقعی برای سه حالت از چهار حالت تعریف شده در شکل (۳-۴)، (a): نوع A با

الکتروود مرجع ماستوئید، (b): نوع A با الکتروود مرجع گوش، (c): نوع B2 با الکتروود

مرجع ماستوئید، (d): نوع C با شخص راست دست و الکتروود مرجع ماستوئید و (e): نوع

C با شخص راست دست و الکتروود مرجع جناغ، نویز زیاد به خاطر سیگنال ECG

است.....۳۷

شکل (۳-۶): مقایسه حرکات انگشت نشانه دست راست و حرکات بازو دست راست توسط انقباض

عضله دلتوئید، الکتروودها به فاصله ۲cm از یکدیگر قرار دارند و زمان صفر به لحظه شروع

حرکت مکانیکی اشاره می‌کند.....۳۹

شکل (۴-۱): نحوه انجام آزمایش و ثبت سیگنال مغزی.....۴۴

شکل (۴-۲): نحوه انجام آزمایش در طول یک آزمون پنج ثانیه‌ای.....۴۴

شکل (۴-۳): سیگنال EEG در طول یک آزمون ۵ ثانیه‌ای به ترتیب برای سه عمل (a) بستن، (b) باز کردن

و (c) عدم حرکت پنجه دست.....۴۶

شکل (۴-۴): تغییرات مقدار متوسط قدرمطلق دامنه سیگنال EEG بر حسب کانال‌های ثبت شده در دو

عمل (a) باز کردن، (b) بستن پنجه دست.....۴۷

شکل (۴-۵): متوسط قدر مطلق دامنه سیگنال EEG در یک آزمون برای هر کانال هنگام عمل باز

کردن پنجه دست.....۴۸

شکل (۴-۶): متوسط قدر مطلق دامنه سیگنال EEG در یک آزمون برای هر کانال هنگام عمل بستن

پنجه دست.....۴۹

شکل (۴-۷): متوسط قدر مطلق دامنه سیگنال EEG در یک آزمون برای هر کانال هنگام عدم حرکت پنجه دست..... ۴۹

شکل (۴-۸): تغییرات پراش سیگنال EEG بر حسب کانال‌های ثبت شده در دو عمل ..... ۵۰  
(a) باز کردن ، (b) بستن پنجه دست

شکل (۴-۹): پراش سیگنال EEG در یک آزمون برای هر کانال هنگام عمل باز کردن پنجه دست... ۵۱

شکل (۴-۱۰): پراش سیگنال EEG در یک آزمون برای هر کانال هنگام عمل بستن پنجه دست..... ۵۱

شکل (۴-۱۱): پراش سیگنال EEG در یک آزمون برای هر کانال هنگام عدم حرکت پنجه دست... ۵۲

شکل (۴-۱۲): طیف توان بدست آمده از سیگنال EEG در ۲۰ کانال هنگام عمل بستن پنجه دست.... ۵۳

شکل (۴-۱۳): طیف توان بدست آمده از سیگنال EEG در ۲۰ کانال هنگام عمل باز کردن پنجه دست..... ۵۴

شکل (۴-۱۴): طیف توان بدست آمده از سیگنال EEG در ۲۰ کانال هنگام عدم حرکت پنجه دست..... ۵۴

شکل (۴-۱۵): نسبت توان باند فرکانسی بتا به توان باند فرکانسی آلفا در هر کانال به ترتیب در دو عمل (a) باز کردن، (b) بستن پنجه دست..... ۵۶

شکل (۴-۱۶): نگاشت سیگنال مغزی مربوط به حرکت بستن پنجه دست در باند فرکانسی بتا ثبت شده از کانال F3..... ۵۷

شکل (۴-۱۷): نگاشت سیگنال مغزی مربوط به حرکت باز کردن پنجه دست در باند فرکانسی بتا ثبت شده از کانال F3..... ۵۷

شکل (۵-۱): منحنی تغییرات متوسط قدر مطلق دامنه سیگنال EEG بر حسب زمان ثبت شده از کانال F3 به ترتیب در سه عمل (a) بستن، (b) باز کردن و (c) عدم حرکت حاصل از یک

آزمون. منحنی‌های (d)، (e) و (f) همان آنالیز را برای یک آزمون دیگر نشان می‌دهند..... ۶۵

شکل (۵-۲): منحنی تغییرات متوسط قدر مطلق دامنه سیگنال EEG بر حسب زمان ثبت شده از کانال FZ به ترتیب در سه عمل (a) بستن، (b) باز کردن و (c) عدم حرکت حاصل از یک

آزمون. منحنی‌های (d)، (e) و (f) همان آنالیز را برای یک آزمون دیگر نشان می‌دهند..... ۶۶

- شکل (۵-۳): منحنی تغییرات پراش سیگنال EEG بر حسب زمان ثبت شده از کانال F3 به ترتیب در سه عمل (a) بستن، (b) باز کردن و (c) عدم حرکت حاصل از یک آزمون. منحنی‌های (d)، (e) و (f) همان آنالیز را برای یک آزمون دیگر نشان می‌دهند..... ۶۸
- شکل (۵-۴): منحنی تغییرات پراش سیگنال EEG بر حسب زمان ثبت شده از کانال FZ به ترتیب در سه عمل (a) بستن، (b) باز کردن و (c) عدم حرکت حاصل از یک آزمون. منحنی‌های (d)، (e) و (f) همان آنالیز را برای یک آزمون دیگر نشان می‌دهند..... ۶۹
- شکل (۵-۵): طیف توان سیگنال EEG در یک آزمون ثبت شده از کانال F3 به ترتیب در (a) باز کردن، (b) بستن و (c) عدم حرکت پنجه دست ..... ۷۲
- شکل (۵-۶): رسم سه بعدی طیف توان سیگنال EEG ثبت شده از کانال F3 در دو آزمون، هنگام عمل باز کردن پنجه دست..... ۷۳
- شکل (۵-۷): رسم سه بعدی طیف توان سیگنال EEG ثبت شده از کانال FZ در دو آزمون، هنگام عمل باز کردن پنجه دست..... ۷۳
- شکل (۵-۸): رسم سه بعدی طیف توان سیگنال EEG ثبت شده از کانال F3 در دو آزمون، هنگام عمل بستن پنجه دست..... ۷۴
- شکل (۵-۹): رسم سه بعدی طیف توان سیگنال EEG ثبت شده از کانال FZ در دو آزمون، هنگام عمل بستن پنجه دست..... ۷۴
- شکل (۵-۱۰): رسم سه بعدی طیف توان سیگنال EEG ثبت شده از کانال F3 در دو آزمون، هنگام عدم حرکت پنجه دست..... ۷۵
- شکل (۵-۱۱): رسم سه بعدی طیف توان سیگنال EEG ثبت شده از کانال FZ در دو آزمون، هنگام عدم حرکت پنجه دست..... ۷۵
- شکل (۵-۱۲): تغییرات نسبت توان باند فرکانسی بتا به باند فرکانسی آلفا در سیگنال EEG بر حسب زمان در کانال F3 حاصل از دو آزمون به ترتیب در دو عمل (b) باز کردن و (d): بستن پنجه دست..... ۷۶

شکل (۵-۱۳): تغییرات نسبت توان باند فرکانسی بتا به باند فرکانسی آلفا در سیگنال EEG بر حسب زمان در کانال FZ حاصل از دو آزمون به ترتیب در دو عمل (b) و (c) باز کردن و بستن پنجه دست.

۷۷.....

شکل (۵-۱۴): تغییر پارامترهای مدل AR بر حسب زمان در یک آزمون به ترتیب برای سه عمل (a)

بستن (b) باز کردن و (c) عدم حرکت پنجه دست..... ۷۹

شکل (۶-۱): بلوک دیاگرام نحوه استخراج، انتخاب و طبقه بندی ویژگی..... ۸۵

شکل (۶-۲): نحوه نمایش کلاس‌های مختلف در فضای ویژگی‌ها..... ۸۶

شکل (۷-۱): عنصر محاسباتی یا گره که مجموع وزن شده‌ای از N ورودی را تشکیل داده حاصل را از

یک عنصر غیرخطی عبور می‌دهد. سه نمونه از عناصر غیرخطی نشان داده شده است..... ۹۳

شکل (۷-۲): بلوک دیاگرام‌های (A) دسته‌بندی کننده کلاسیک و (B) دسته‌بندی کننده شبکه عصبی..... ۹۵

شکل (۷-۳): (a) یک پرسپترون تک لایه که یک بردار آنالوگ ورودی را به دو گروه A و B

دسته‌بندی می‌کند. (b) فضای حاصل از ورودی که توسط یک خط از یکدیگر جدا

شده‌اند..... ۹۷

شکل (۷-۴): منحنی یادگیری سه شبکه پرسپترون دو لایه با ۲۰، ۳۰ و ۴۰ نرون پنهان که به ترتیب

در (a)، (b) و (c) نشان داده شده است..... ۱۰۳

شکل (۷-۵): منحنی یادگیری سه شبکه عصبی پرسپترون دو لایه با ۲۰، ۳۰ و ۴۰ نرون پنهان که به

ترتیب در (a)، (b) و (c) نشان داده شده است..... ۱۰۵

شکل (۷-۶): منحنی یادگیری سه شبکه عصبی پرسپترون دو لایه با ۲۰، نرون پنهان، آموزش داده شده

با ترکیب‌های مختلف الگوهای آموزشی: (a) (باز کردن \_ بستن \_ عدم حرکت)، (b)

(بستن \_ باز کردن \_ عدم حرکت) و (c) (باز کردن \_ بستن)..... ۱۰۷

شکل (۷-۷): منحنی یادگیری شبکه عصبی پرسپترون دو لایه با ۲۰، نرون پنهان، که به روش تصادفی

آموزش دیده است..... ۱۰۹

شکل (۷-۸): منحنی یادگیری شبکه عصبی پرسپترون دو لایه با ۳۰، نرون پنهان، که به روش تصادفی

آموزش دیده است..... ۱۰۹