

۲۰۹۴۱۹



کانون نشر علوم

تئوری و کاربرد شبکه‌های عصبی در MATLAB

نویسندگان:

محمد فتحی

فرینا زمانی اسگویی

ناشر:

کانون نشر علوم



نشر علم

www.nashreloom.com

پیشگام در نشر آثار برگزیده علوم کاربردی کامپیوتر و الکترونیک

سرشناسه: فتحی، محمد، ۱۳۶۳-

عنوان و نام پدیدآور: تئوری و کاربرد شبکه‌های عصبی در MATLAB / نویسندگان: محمد فتحی، فرینا زمانی اسکویی.

مشخصات نشر: تهران: کانون نشر علوم: کاتوزی، ۱۳۹۷.

مشخصات ظاهری: ۵۱۸ ص: مصور، جدول، نمودار.

شابک: ۹۷۸۹۶۴۳۲۷۲۱۴۲

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

موضوع: شبکه‌های عصبی (کامپیوتر)

موضوع: (Computer science) Neural networks

موضوع: متلب

موضوع: MATLAB

شناسه افزوده: زمانی اسکویی، محمد، ۱۳۶۳-

رده‌بندی کنگره: ۹۷ ت ۷۸۸۷۱ QA ۷۸۸۷۱

رده‌بندی دیویی: ۰۰۶/۳۲

شماره کتابشناسی ملی: ۱۰۸۷-۹۴

نام کتاب: تئوری و کاربرد شبکه‌های عصبی در MATLAB

ناشر: کانون نشر علوم

ناشر همکار: کاتوزی

نویسندگان: محمد فتحی، فرینا زمانی اسکویی

صفحه‌آرا: فاطمه آدیگوزل‌پور اردبیلی

طرح جلد: زهرا سلطان‌آبادی

چاپ اول: ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰

چاپ و صحافی: کانون نشر علوم

قیمت: ۷۵۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸۹۶۴۳۲۷۲۱۴۲

دفتر مرکزی پخش: خیابان انقلاب، خیابان فخر رازی، خیابان وحید نظری شرقی، پلاک ۶۵، واحد ۱

تلفن: ۶۶۹۶۱۵۶۸-۶۶۴۹۴۹۱۱



سخن مولفان

در طول بیش از یک دهه فعالیت مستمر با نرم افزار MATLAB و علوم مهندسی، همواره کلمه‌ی «شبکه‌ی عصبی» برای من جالب و مورد توجه بوده است. اوایل با مشاهده‌ی حجم زیاد پایان نامه‌ها و مقاله‌های فارسی، که در این زمینه توسط اساتید تعریف می‌شد؛ آن را موضوعی اسرارآمیز، خارق‌العاده و بسیار رهگشا می‌پنداشتم و بعد از چندین سال مطالعه و تحقیق، اصرار زیاد اساتید به بهره‌گیری از این ابزار ریاضی، تعجب مرا بر می‌انگیخت.

حجم زیاد منابع و سراسری شبک‌ی عصبی نیز برایم جالب بود اما محتوای آنها را خیلی نمی‌پسندیدم. زیرا یا به شکل مطلبی از محتوای آنها، به تاریخچه و مباحث زیستی و رفتار مغز اختصاص داشت که تنها برای تخصصان علوم تجربی مفید بود و یا مباحث بسیار خشک ریاضی، بدون کمترین کاربردی مطرح می‌شد که تنها متخصصین ریاضی با آن ارتباط برقرار می‌کردند و هرگز یک محقق در مباحث کاربردی نمی‌توانست از آنها استفاده کند.

در کلاس‌های حضوری متلب نیز رشته‌های متفاوت هر حوزه مورد شبکه‌های عصبی مرا مورد پرسش و پاسخ قرار می‌دادند و از فقدان یک مرجع مناسب، گلایه می‌کردند. از طرفی به دلایل ناآگاهی، بعضاً دانشجویان سعی می‌کردند مباحث نامرتبط با شبکه‌های عصبی را به این موضوع مرتبط کرده و از نتایج آنها در تحقیقات خود استفاده کنند. به هر حال در کلاس‌هایم، مشتاقان شبکه‌های عصبی در بین دیگر بخش‌های نرم‌افزار متلب همواره خاص و جالب بودند و گاهی به دانشجویانم به مزاح عرض می‌کردم که موضوع شبکه‌های عصبی از نقشه‌های استعمارگران است که اساتید و دانشجویان ما را در این حوزه سرگرم کنند!!! و بصورت جدی از آنها می‌پرسیدم چه ارتباطی بین شبکه‌های عصبی و نیاز روزمره‌ی صنعت ما موجود دارد؟ کدام صنعت و کدام رشته به این موضوع نیازمند هستند؟ و چه کاربردی را باید از آن انتظار داشت؟ روش‌های سنتی چه ایرادی دارند؟ و شما قرار است چه مشکلی را حل کنید؟ فراموش نکنید که شبکه‌های عصبی تنها یک ابزار ریاضی است که کاربردهای مشخصی دارد و پافشاری



بر استفاده از آن در مباحث غیر مرتبط، اسراف و اتلاف وقت و هزینه است. توجه داشته باشید؛ همواره در یک مسالهی واقعی، باید فیزیک مساله و جوانب آن را بررسی کرد و هیچگاه نباید اختیار حل یک مساله را بطور کامل در اختیار کامپیوتر قرار داد. یک قاعده تجربی می‌گوید: «اگر خودت نتوانستی یک مساله را دستی حل کنی؛ کامپیوتر به هرگز قادر نیست آن را حل کند». به هر حال، اگرچه در این گفتار اغراق زیادی اندیشم شد اما اگر این موارد پاسخ داده شود؛ مبحث شبکه‌های عصبی در جایگاه خودش بسیار مفید کاربردی و رهگشا است.

این کتاب پاسخی بر سوالات بالا در حد بضاعت است. سعی کرده‌ام تا حد امکان اصطلاحات قرآن مبحث شبکه‌های عصبی را تشریح کنم؛ ریاضیات آن را ساده و خلاصه ارائه دهم؛ کاربردهای اصلی آن را شفاف نمایم و در قالب چندین مثال و پروژه کاربردی آن را ملموس ندانم. امیدوارم بخوانید و در ایمیل‌ها و پیام‌هایتان اعلام فرمایید که به هدفم در آموزش اصیل سید بن عصبی رسیده‌ام! در مجموعه کتاب‌های قبلی آموزش MATLAB این حس را تجربه کردم و شایسته آن برایم بسیار لذت بخش بوده است.

محتوای اولیه‌ی این کتاب، در سال‌های گذشته در کتاب «برنامه‌نویسی MATLAB همراه با GUI و جعبه ابزارهای تخصصی: شبکه عصبی، منطق فازی، بهینه‌سازی، پردازش تصویر و برازش» به چاپ رسیده و مورد استقبال خوانندگان قرار گرفته است. هدف اصلی در آن زمان، «آموزش برنامه‌نویسی عمومی و تخصصی» به خوانندگان بود. اما در کتاب حاضر، رویکرد اصلی «بیان مفاهیم و تئوری شبکه‌های عصبی با کمک نرم‌افزار MATLAB» است و در کنار آن بر مباحث برنامه‌نویسی توجه زیادی شده است و بر خلاف دیگر منابع شبکه‌ی عصبی، از قسمت گرافیکی آماده‌ی MATLAB برای شبکه‌های عصبی استفاده نشده است؛ زیرا بخش گرافیکی شبکه‌ی عصبی، اگرچه سبب سهولت کار می‌گردد، اما انعطاف‌پذیری زیادی ندارد و به خوبی در مسائل چند وجهی، توسعه پیدا نمی‌کند.



در سال‌های اخیر با مطرح شدن مبحث یادگیری عمیق، دنیای شبکه‌های عصبی متحول شده‌است و پیرو آن نرم‌افزار متلب نیز از سال ۲۰۱۶ به بعد در بخش جعبه ابزار شبکه‌های عصبی، تغییرات شگرفی ایجاد کرده‌است و به نظر می‌رسد این تغییرات ادامه داشته باشد. با این وجود سعی کرده‌ام تمامی این جوانب را در نظر داشته باشم و مطالب را با گوناوی تنظیم کنم که با گذشت زمان، موضوعات کهنه نشوند. به هر حال این کتاب بر مبنای تجربیات نویسندگان آن نگارش شده‌است، ممکن است نواقصی در آن دیده شود. لذا از شما خوانندگان درخواست می‌گردد در صورت مشاهده‌ی هرگونه نقص، آن را با درس‌نویس Mohammad.Fathi63@Gmail.com یا کانال [@M_Ali_A3_Simulink_GUI](https://www.simulink.ir) (ه‌وایل به شماره‌ی ۰۹۱۰۶۶۷۳۱۲۹) مطرح نمایند تا در نگارش‌های بعدی ضمن ترمیم آن‌ها بر مبنای خواست شما سروران، موضوعات متناسب با نیاز شما در این کتاب گنجانده شود. ضمناً با تماس اینترنتی با این شماره، می‌توانید کدهای اشاره شده در متن کتاب دریافت کنید تا از سی‌دی همراه کتاب اجتناب شود.

در پایان از تمامی کسانی که در نگارش این کتاب مرا یاری داده‌اند، بخصوص انتشارات کانون نشر علوم و مدیریت آن جناب آقای منوری تشکر و قدردانی می‌شود و امیدواریم با نظرات و پیشنهادات خود، ما را برای ادامه راه یاری فرمایید.



فهرست مطالب

۱۶	 جارجوب کتاب
۱۹	بخش اول: برازش
۲۱	فصل اول: مقدمه
۲۱	۱-۱- مقدمه‌ای بر مطلب: متغیرهای ساختمان
۲۴	۲-۱- معرفی مراجع
۲۵	فصل دوم: برازش به روش سنتی
۲۵	۲-۱- تئوری برازش: روش تخمین مربعات
۲۷	۲-۲- بررسی کیفیت برازش
۲۷	۲-۱- تعریف پارامتر باقی مانده
۲۷	۲-۲- تعریف پارامتر SSE
۲۷	۳-۲-۲ تعریف پارامتر SSR
۲۸	۴-۲-۲ تعریف پارامتر SST
۲۸	۵-۲-۲ تعریف پارامتر R-Square
۲۸	۶-۲-۲ تعریف پارامتر درج آزادی
۲۸	۷-۲-۲ تعریف پارامتر MS
۲۸	۸-۲-۲ تعریف پارامتر RMSE
۲۸	۹-۲-۲ تعریف پارامتر Adjusted R-Square
۲۹	۱۰-۲-۲ تعریف پارامتر MAE
۲۹	۳-۲- پیاده‌سازی یک متغیره برازش با مطلب
۳۶	۴-۲- بررسی کیفیت برازش در مطلب
۳۸	۵-۲- پیاده‌سازی دو متغیره برازش با مطلب
۴۱	فصل سوم: شروع به کار سریع با شبکه‌های عصبی
۴۱	۱-۳- مدل نرون
۴۳	۲-۳- انواع توابع تبدیل نرون
۴۴	۳-۳- مثال اول: شبکه‌های پرسپترون
۴۷	۴-۳- مثال دوم: شبکه‌های خطی
۵۰	۵-۳- نتیجه‌گیری کلی
۵۱	فصل چهارم: ادبیات و نمادهای شبکه‌های عصبی
۵۱	۱-۴- لایه‌ی نرون‌ها
۵۳	۲-۴- شبکه‌های عصبی
۵۵	فصل پنجم: قانون یادگیری شبکه‌ی چند لایه: روش Gradient Descent
۵۵	۱-۵- تخمین تابع با شبکه‌های عصبی
۶۳	۲-۵- قانون یادگیری شبکه‌ی چند لایه: روش Momentum
۶۳	۳-۵- قانون یادگیری شبکه‌ی چند لایه: روش Levenberg-Marquadt
۶۷	۴-۵- بهبود فرآیند یادگیری
۶۷	۱-۴-۵ نرمالیز کردن داده‌های ورودی و خروجی
۶۸	۲-۴-۵ تعیین مقدار اولیه‌ی وزن‌ها و بایاس‌ها
۶۹	۳-۴-۵ تعیین تعداد نرون‌ها در لایه‌ی مخفی



۷۵	۵-۵- اشتباهات متداول یادگیری
۷۵	۵-۵-۱- شرط تشکیل تابع
۷۶	۵-۵-۲- ورودی و خروجی کافی و حساس
۷۶	۵-۵-۳- تابعیت خروجی از ورودی
۷۷	فصل ششم: صحه‌گذاری و تست در شبکه‌های عصبی
۷۷	۶-۱- مفاهیم ریاضی
۷۷	۶-۱-۱- تعریف یا اتر میانگین (Mean)
۷۸	۶-۱-۲- تعریف یا اتر میانه (Median Value)
۷۸	۶-۱-۳- تعریف یا اتر مود (Mode)
۷۹	۶-۱-۴- تعریف یا اتر انحراف معیار (Standard Deviation)
۷۹	۶-۱-۵- تعریف یا اتر واریانس (Variance)
۸۰	۶-۱-۶- تعریف یا اتر کواریانس (Covariance)
۸۰	۶-۱-۷- تعریف یا اتر ماتریس کواریانس (Covariance matrix)
۸۰	۶-۱-۸- تعریف یا اتر ضریب همبستگی (Correlation coefficients)
۸۰	۶-۱-۹- تعریف یا اتر رگرسیون (Regression)
۸۲	۶-۲- تعریف فرایند صحه‌گذاری و تست در شبکه‌های عصبی
۸۳	۶-۲-۱- مثال اول: تخمین قیمت منزل مسکونی
۸۷	۶-۳- الگوریتم ریاضی K-Fold Cross Validation
۸۹	فصل هفتم: پیوست (ارتباط متلب با اکسل، Notepad و AI)
۸۹	۷-۱- ارتباط متلب با اکسل
۹۰	۷-۱-۱- دستور xlsread: خواندن فایل‌های اکسل
۹۳	۷-۱-۲- دستور xlswrite: نوشتن در فایل‌های اکسل
۹۶	۷-۱-۳- تبدیل فایل Notepad به اکسل
۹۷	۷-۲- ارتباط متلب با فایل‌های MAT
۹۷	۷-۲-۱- دستور save: نوشتن فایل‌های اختصاصی متلب (با پسوند mat)
۹۷	۷-۲-۲- دستور load: خواندن فایل‌های اختصاصی متلب (با پسوند mat)
۱۰۰	بخش دوم: طبقه‌بندی و تشخیص الگو
۱۰۳	فصل اول: مقدمه
۱۰۳	۱-۱- مقدمه‌ای بر MATLAB: متغیرهای اسپارس
۱۰۵	۱-۲- معرفی مراجع
۱۰۷	فصل دوم: مروری بر ادبیات نرون‌ها و شبکه‌های عصبی شعاعی
۱۰۷	۲-۱- مدل نرون شعاعی
۱۰۹	۲-۲- شبکه‌های عصبی شعاعی
۱۰۹	۲-۳- قانون آموزش شبکه‌های عصبی شعاعی
۱۱۵	فصل سوم: طبقه‌بندی با شبکه‌های عصبی LVQ
۱۱۵	۳-۱- معرفی تابع تبدیل compet
۱۱۷	۳-۲- ساختار و محاسبات شبکه‌های عصبی LVQ
۱۱۹	۳-۲-۱- ساخت شبکه‌های عصبی LVQ با دستور lvqnet
۱۲۱	۳-۲-۲- ساخت شبکه‌های عصبی LVQ با دستور newlvq



۱۲۳	فصل چهارم: تشخیص الگو با مفاهیم برازش
۱۲۳	۱-۴ معرفی تابع تبدیل softmax
۱۲۴	۲-۴ ساختار شبکه‌ی عصبی در تشخیص الگو
۱۲۴	۱-۲-۴ ساخت شبکه‌ی عصبی با patternnet
۱۲۹	فصل پنجم: صحه‌گذاری و تست تشخیص الگو و طبقه‌بندی
۱۲۹	۱-۵ ماتریس درهم‌ریختگی (Confusing)
۱۳۳	۲-۵ ROC
۱۳۷	۵-۵ اختلاف آنتروپی (Cross Entropy)
۱۴۳	بخش سوم: خوشه‌بندی
۱۴۵	فصل اول: مقدمه
۱۴۵	۱-۱-۱ معرفی مراجع
۱۴۷	فصل دوم: خوشه‌بندی با K-Means
۱۴۷	۱-۲-۱ تئوری خوشه‌بندی با K-Means
۱۵۰	۲-۲ خوشه‌بندی با K-Means در MATLAB
۱۵۲	۳-۲ بهینه‌سازی جهت یافتن خوشه
۱۵۵	فصل سوم: شبکه‌های عصبی SOM
۱۵۵	۱-۳ مقدمه‌ی ریاضی
۱۵۵	۱-۳-۱ تعریف توپولوژی و همسایگی
۱۵۹	۲-۳-۱ تعریف فاصله
۱۶۲	۲-۳-۲ ساختار شبکه‌های عصبی SOM
۱۶۳	۱-۳-۳ مثال اول: خوشه‌بندی با یک مرکز
۱۶۴	۲-۳-۳ مثال دوم: خوشه‌بندی با دو مرکز
۱۶۶	۳-۳ قوانین آموزش شبکه‌های عصبی SOM
۱۶۶	۱-۳-۳ قاعده‌ی آموزش افزایشی SOM
۱۶۷	۲-۳-۳ قاعده‌ی آموزش دسته‌ای SOM
۱۶۸	۳-۳-۳ قاعده‌ی آموزش دسته‌ای SOM در MATLAB
۱۷۱	فصل چهارم: پروژه: شبکه‌های عصبی SOM در MATLAB
۱۷۱	۱-۴ پروژه اول: نمودارهای شبکه‌های عصبی SOM
۱۷۴	۲-۴ پروژه دوم: شبکه‌های عصبی SOM با ساختار یک بعدی
۱۷۶	۳-۴ پروژه سوم: شبکه‌های عصبی SOM با ساختار دو بعدی
۱۷۹	فصل پنجم: تئوری خوشه‌بندی Fuzzy c-means
۱۷۹	۱-۵ خوشه‌بندی با منطق فازی
۱۸۱	۲-۵ خوشه‌بندی Fuzzy c-means در متلب
۱۸۵	بخش چهارم: شناسایی سیستم
۱۸۷	فصل اول: مقدمه
۱۸۷	۱-۱ مقدمه‌ای بر MATLAB: متغیرهای سلولی
۱۸۸	۲-۱ معرفی مراجع



فصل دوم: شناسایی سیستم به روش کلاسیک	۱۸۹
۱-۲- جمع آوری داده در حوزه‌ی زمان	۱۸۹
۲-۲- ساختار معادلات تفاضلی	۱۹۲
۳-۲- روش حداقل مربعات استاتیک	۱۹۳
۴-۲- روش حداقل مربعات دینامیکی	۱۹۶
۱-۴-۲- شناسایی مدل ARX	۱۹۶
۲-۴-۲- شناسایی مدل ARMAX	۲۰۳
۳-۴-۲- شناسایی مدل کلی	۲۰۷
فصل سوم: شروع کار با شبکه‌های عصبی بازگشتی	۲۱۱
۱-۳- شبکه‌های عصبی بازگشتی	۲۱۱
۲-۳- رابطه شبکه‌های عصبی بازگشتی و معادلات تفاضلی	۲۱۳
۳-۳- برنامه‌نویسی و حل یک مسأله ساده به روش آفلاین	۲۱۳
۱-۳-۳- حالت آموزش آفلاین	۲۱۴
۲-۳-۳- حالت شبیه‌سازی	۲۱۵
۳-۳-۳- جمع‌بندی	۲۱۷
۴-۳- مروری بر ریاضیات	۲۱۷
فصل چهارم: ادبیات و نمادهای شبکه‌های عصبی بازگشتی	۲۲۱
۱-۴- تعریف ورودی‌های شبکه‌ی عصبی	۲۲۱
۱-۱-۴- ورودی‌های همزمان (Concurrent)	۲۲۱
۲-۱-۴- ورودی‌های ترتیبی یا گام‌به‌گام (Sequential)	۲۲۲
۲-۴- ساخت شبکه‌های عصبی دینامیکی در حین آموزش	۲۲۶
۱-۲-۴- ساخت شبکه‌های عصبی با ورودی حقیقی (imedelaynet)	۲۲۷
۲-۲-۴- ساخت شبکه‌های عصبی با ورودی مجازی (narnet)	۲۳۰
۳-۲-۴- ساخت شبکه‌های عصبی با ورودی حقیقی و مجازی (narxnet)	۲۳۲
۳-۴- ساخت شبکه‌های عصبی دینامیکی در حین شبیه‌سازی	۲۳۳
۱-۳-۴- ساخت شبکه‌های عصبی حلقه بسته (closeloop)	۲۳۴
فصل پنجم: تخمین معادله‌ی دیفرانسیل خطی با شبکه‌های عصبی	۲۳۷
۱-۵- فرایند آموزش شبکه عصبی	۲۳۹
۲-۵- بررسی صحت آموزش	۲۳۹
۱-۲-۵- بررسی صحت آموزش با معیار کارایی	۲۳۹
۲-۲-۵- بررسی صحت آموزش با معیار پاسخ سیستم به داده‌های آموزشی	۲۴۰
۳-۲-۵- بررسی صحت آموزش با معیار خودهمبستگی	۲۴۲
۴-۲-۵- بررسی صحت آموزش با معیار همبستگی متقابل	۲۴۵
۳-۵- فرایند شبیه‌سازی معادله‌ی دیفرانسیل خطی	۲۴۸
۴-۵- جمع‌بندی و تحلیل نتایج	۲۵۱
فصل ششم: تخمین معادله‌ی دیفرانسیل غیرخطی با شبکه‌های عصبی	۲۵۳
۱-۶- فرایند آموزش شبکه عصبی	۲۵۳
۲-۶- بررسی صحت آموزش	۲۵۵
۳-۶- فرایند شبیه‌سازی معادله‌ی دیفرانسیل غیرخطی	۲۵۷
۴-۶- جمع‌بندی و تحلیل نتایج	۲۵۸



۲۵۹	فصل هفتم: تعیین پارامترهای PID با شبکه‌های عصبی
۲۵۹	۱-۷- تئوری آموزش شبکه‌ی عصبی برای سیستم کنترلی
۲۶۳	۲-۷- حل یک مثال کنترلی
۲۶۷	بخش پنجم: شبکه‌های عصبی و سیستم‌های فازی
۲۶۹	فصل اول: مقدمه
۲۶۹	۱-۱- معرفی مراجع
۲۷۱	فصل دوم: مروری بر منطق فازی
۲۷۱	۲- شروع به کار سریع
۲۷۱	۱-۱-۲- گام‌های حل مسأله‌ی رستوران‌دار به روش ممدانی
۲۷۷	۱-۱-۱- گام‌ها: حل مسأله‌ی رستوران‌دار به روش سوگنو
۲۷۸	۱-۲-۳- مسأله‌ی رستوران‌دار با متلب به روش ممدانی
۲۸۱	۱-۲-۴- پیاده‌سازی مسأله‌ی رستوران‌دار با متلب به روش سوگنو
۲۸۴	۲-۲- مسأله‌ی انگ، کوس، انگازی
۲۸۵	۲-۲-۱- محاسبه‌ی پیروی، مثال: بر آونگ معکوس
۲۸۹	۲-۲-۲- محاسبه‌ی رفتار آونگ، مع‌س
۲۹۱	فصل سوم: تخمین توابع با روش شبکه‌ی فازی
۲۹۱	۱-۳- تعریف روش ANFIS
۲۹۲	۲-۳- ساختار روش ANFIS
۲۹۳	۱-۲-۳- لایه اول در ساختار ANFIS
۲۹۳	۲-۲-۳- لایه دوم در ساختار ANFIS
۲۹۴	۳-۲-۳- لایه سوم در ساختار ANFIS
۲۹۴	۴-۲-۳- لایه چهارم در ساختار ANFIS
۲۹۴	۵-۲-۳- لایه پنجم در ساختار ANFIS
۲۹۵	۳-۳- الگوریتم آموزش ANFIS
۲۹۵	۱-۳-۳- مسیر پیشرو آموزش
۲۹۵	۲-۳-۳- مسیر پسرو آموزش
۲۹۷	فصل چهارم: بکارگیری ANFIS در MATLAB
۲۹۷	۱-۴- مثال: بکارگیری دستور anfis و genfis1
۳۰۰	۲-۴- مثال: بکارگیری دستور anfis و genfis2
۳۰۲	۳-۴- مثال: بکارگیری ژنتیک الگوریتم
۳۰۵	بخش ششم: شبکه‌های عصبی و بهینه‌سازی
۳۰۷	فصل اول: مقدمه
۳۰۷	۱-۱- معرفی مراجع
۳۰۹	فصل دوم: شبکه‌های عصبی و بهینه‌سازی سنتی
۳۰۹	۱-۲- روش ریاضی بهینه‌سازی سنتی
۳۱۰	۱-۱-۲- روش اول: روش سریع‌ترین صعود
۳۱۲	۲-۱-۲- روش دوم: روش نیوتن
۳۱۲	۳-۱-۲- روش سوم: روش ناحیه‌ی اطمینان



۲-۲-۲	توابع کاربردی بهینه‌سازی سنتی	۳۱۵
۱-۲-۲	دستور fminunc: بهینه‌سازی بدون قید	۳۱۶
۲-۲-۲	دستور fmincon: بهینه‌سازی با قید	۳۲۱
۳-۲	آموزش شبکه عصبی با روش بهینه‌سازی سنتی	۳۲۳
۳۲۹	فصل سوم: شبکه عصبی و ژنتیک الگوریتم	۳۲۹
۱-۳	روش ریاضی ژنتیک الگوریتم	۳۲۹
۲-۳	دستورات ژنتیک الگوریتم در متلب	۳۳۷
۳-۳	ترکیب شبکه‌های عصبی و ژنتیک الگوریتم	۳۵۲
۱-۳-۳	آموزش شبکه عصبی با ژنتیک الگوریتم	۳۵۲
۲-۳-۳	بهینه‌کردن تابع هزینه‌ی شبکه‌ی عصبی با ژنتیک الگوریتم	۳۵۴
۳۵۵	فصل چهارم: پیوست: معرفی بهینه‌سازی شبیه‌سازی تبرید و تجمع ذرات	۳۵۵
۱-۴	روش ریاضی بهینه‌سازی شبیه‌سازی تبرید	۳۵۵
۲-۴	دستورات شبیه‌سازی تبرید در متا	۳۵۶
۳-۴	روش ریاضی بهینه‌سازی تجمع ذرات (PSO)	۳۶۲
۴-۴	پیاده‌سازی الگوریتم PSO در متا	۳۶۳
۳۶۷	فصل پنجم: پیوست: مروری بر بهینه‌سازی مدل‌های	۳۶۷
۱-۵	بهینه‌سازی کلاسیک چند هدفه	۳۶۷
۱-۱-۵	دستور fminimax: بهینه‌سازی چند تابعی	۳۶۹
۲-۱-۵	دستور fgoalattain: بهینه‌سازی چند تابعی	۳۷۱
۲-۵	بهینه‌سازی مدرن چند هدفه	۳۷۲
۱-۲-۵	دستور gamultiobj: بهینه‌سازی چند تابعی به روش ژنتیک	۳۷۳
۳۷۵	بخش هفتم: شبکه‌های عصبی عمیق و پردازش تصویر	۳۷۵
۳۷۷	فصل اول: مقدمه	۳۷۷
۱-۱	معرفی مراجع	۳۷۷
۳۷۹	فصل دوم: شبکه‌های عصبی عمیق	۳۷۹
۱-۲	یادگیری عمیق	۳۷۹
۱-۱-۲	ناپدید شدن گرادیان و تابع ReLU	۳۸۰
۲-۱-۲	برازش بیش از اندازه و Dropout	۳۸۰
۳-۱-۲	حجم محاسبات زیاد و GPU	۳۸۱
۲-۲	روش‌های یادگیری عمیق	۳۸۲
۳-۲	ترم‌افزارهای یادگیری عمیق	۳۸۳
۳۸۵	فصل سوم: شبکه‌های عصبی کانولوشن	۳۸۵
۱-۳	ساختار شبکه‌های عصبی کانولوشن	۳۸۵
۱-۱-۳	لایه کانولوشن	۳۸۶
۲-۱-۳	لایه‌ی جمع	۳۸۶
۳-۱-۳	لایه‌ی اتصال کامل	۳۸۸
۲-۳	شبکه‌های عصبی کانولوشن در MATLAB	۳۸۸
۱-۲-۳	محاسبه‌ی خروجی شبکه‌های عصبی کانولوشن	۳۸۹
۲-۲-۳	الگوریتم آموزش شبکه‌های عصبی کانولوشن	۳۹۹
۳-۲-۳	حل مثال طبقه‌بندی: تشخیص حروف انگلیسی با شبکه‌های عصبی کانولوشن	۴۰۰



فصل چهارم: پروژه: شبکه‌های عصبی و پردازش تصویر.....	۴۰۵
۱-۴- پروژه اول: تشخیص حروف انگلیسی با شبکه‌های عصبی.....	۴۰۵
۱-۱-۴- راه حل اول برای داده‌های بدون نویز.....	۴۰۵
۲-۱-۴- راه حل دوم برای داده‌های با نویز.....	۴۰۹
۳-۱-۴- راه حل سوم برای داده‌های با نویز.....	۴۱۱
۲-۴- پروژه دوم: تشخیص اعداد انگلیسی با شبکه‌های عصبی.....	۴۱۲
۱-۲-۴- حل مساله.....	۴۱۳
فصل پنجم: پیوست اول: تصاویر غیر رنگی.....	۴۱۷
۵-۱- تصویر دیجیتال.....	۴۱۷
۱-۱-۵- ماتریس تصویر.....	۴۱۷
۲-۱-۵- تبدیل تصویر.....	۴۱۷
۲-۵- انواع تصاویر و مفهوم رنگ.....	۴۱۸
۱-۲-۵- تصاویر بتری.....	۴۱۸
۲-۲-۵- تصویر سطح خاکستری.....	۴۲۰
۳-۲-۵- تبدیل تصویر.....	۴۲۱
۴-۲-۵- رزولوشن تصویر.....	۴۲۲
۳-۵- خواندن تصاویر: ایجاد ماتریس تصویر.....	۴۲۳
۴-۵- ویرایش تصویر.....	۴۲۴
۵-۵- هیستوگرام تصویر.....	۴۲۵
۶-۵- عملیات ریاضی بر روی تصویر.....	۴۲۷
۱-۶-۵- جمع دو تصویر.....	۴۲۷
۲-۶-۵- تفریق دو تصویر.....	۴۲۸
۷-۵- آنالیز تصاویر غیر رنگی.....	۴۲۸
۱-۷-۵- پروژه: تحلیل خانه‌های شهر.....	۴۲۹
۲-۷-۵- پروژه: اندازه‌گیری زاویه‌ی دو خط.....	۴۳۱
فصل ششم: پیوست دوم: تصاویر رنگی.....	۴۳۵
۱-۶- تصویر دیجیتال.....	۴۳۵
۱-۱-۶- ماتریس تصویر.....	۴۳۵
۲-۱-۶- پیکسل تصویر.....	۴۳۶
۲-۶- انواع تصاویر.....	۴۳۶
۱-۲-۶- تصاویر رنگی RGB.....	۴۳۶
۲-۲-۶- تصاویر اندیس گذاری شده.....	۴۳۸
۳-۲-۶- تبدیل تصاویر رنگی به خاکستری.....	۴۳۸
۳-۶- ویرایش تصویر.....	۴۳۹
۴-۶- بسط مفاهیم تصاویر دو بعدی به سه بعدی.....	۴۴۰
۵-۶- آنالیز تصاویر رنگی.....	۴۴۱
۱-۵-۶- پروژه: شناسایی منطقه‌ی آتش‌سوزی.....	۴۴۱
فصل هفتم: پیوست سوم: فیلتر کردن در حوزه مکان.....	۴۴۳
۱-۷- تعریف اتصال و همسایگی.....	۴۴۴
۲-۷- پیکسل‌های تیز و آرام.....	۴۴۴



۴۴۵	۳-۷- تبدیلات و فیلتر کردن در حوزه مکان
۴۴۹	۴-۷- تعیین وزن‌های فیلتر
۴۴۹	۷-۴-۱- فیلترهای آرام یا پائین‌گذر
۴۵۲	۷-۴-۲- فیلترهای تیز یا بالاگذر
۴۵۶	۷-۵- فیلتر کردن با توابع دلخواه
۴۵۷	فصل هشتم: پیوست چهارم: عملیات هندسی و ثبت تصویر
۴۵۸	۸-۱- تعریف بردار سه‌گانه
۴۵۹	۸-۲- تعریف ماتریس انتقال
۴۶۰	۸-۲-۱- انتقال هندسی غیر انعکاسی
۴۶۱	۸-۲-۲- انتقال همانندی
۴۶۲	۸-۲-۳- انتقال افاین
۴۶۳	۸-۲-۴- انتقال تصویرگر
۴۶۵	۸-۳- ثبت تصویر
۴۶۸	۸-۴- آنالیز Procrustes
۴۷۱	فصل نهم: پیوست پنجم: عملیات مورفولوژی
۴۷۱	۹-۱- تعریف نما، زمینه، شی
۴۷۱	۹-۲- تعریف شی و اتصال
۴۷۴	۹-۳- تعریف سوراخ، والد و فرزند
۴۷۴	۹-۴- مروری سریع بر مورفولوژی
۴۷۷	۹-۵- عنصر ساختاری
۴۷۷	۹-۵-۱- تعریف عنصر ساختاری
۴۷۸	۹-۵-۲- تعریف شی عنصر ساختاری
۴۷۸	۹-۵-۳- نحوی انتخاب عنصر ساختاری
۴۷۹	۹-۶- تعریف انتقال
۴۸۱	۹-۷- تعریف انعکاس
۴۸۱	۹-۸- عملیات‌های پایه‌ی مورفولوژی
۴۸۱	۹-۸-۱- تعریف سایش
۴۸۶	۹-۸-۲- تعریف فرسایش
۴۸۸	۹-۸-۳- تعریف باز شدن و بستن
۴۹۰	۹-۹- آنالیز تصویر با عملیات مورفولوژی
۴۹۰	۹-۱۰- پروژه: شمارش تعداد دندان‌های چرخ دنده
۴۹۹	فصل دهم: پیوست ششم: حل چند پروژه کاربردی
۴۹۹	۱۰-۱- پروژه: تشخیص اعداد و حروف
۵۰۳	۱۰-۲- پروژه: پیدا کردن خطوط متن
۵۰۵	۱۰-۳- پروژه: تبدیل تصویر به نوشته (OCR)
۵۰۹	۱۰-۴- پروژه: بخش‌بندی اعداد و ارقام تصویر
۵۱۱	۱۰-۵- پروژه: تشخیص اعداد بلاک خودرو
۵۱۴	۱۰-۶- پروژه: یافتن ابتدای تصویر
۵۱۶	۱۰-۷- پروژه: تجمع چند بیکسل در یک بیکسل