

به نام خدا



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده برق و کامپیوتر



درس سیستم‌های هوشمند

تمرین شماره ۳

آبان-آذر ۱۴۰۰

## فهرست سوالات

- سوال ۱: کاربرد شبکه‌های عصبی پیچشی در طبقه‌بندی ..... ۳
- الف: توضیحات مدل شبکه پیچشی ..... ۳
- ب: تاثیر لایه مخفی ..... ۴
- ج: تاثیر تابع فعال‌ساز ..... ۴
- د: تاثیر بهینه‌ساز ..... ۴
- ه: تاثیر حذف تصادفی ..... ۴
- سوال ۲: شبکه عصبی (پرسپترون با چندلایه مخفی) ..... ۵
- الف: تحلیلی ..... ۵
- ب: تحقیق ..... ۶
- پ: پیاده‌سازی شبکه پرسپترون در کاربرد رگرسیون ..... ۶
- نکات: ..... ۹

## سوال ۱: کاربرد شبکه‌های عصبی پیچشی در طبقه‌بندی (امتیازی)

در این سوال قصد داریم به کمک کتابخانه‌های موجود شبکه‌ی عصبی را طراحی و پیاده‌سازی کنیم. (به صورت پیشنهاد کتابخانه‌ی keras معرفی خواهد شد.) دادگان مورد استفاده CIFAR10 است، که یکی از معروف‌ترین دادگان برای سنجش الگوریتم‌های طبقه‌بندی است. این دیتاست از ۶۰۰۰۰ تصویر در ۱۰ طبقه مختلف تشکیل شده است.<sup>۱</sup> در هر قسمت دقت و مقدار خطا<sup>۲</sup> روی داده آموزش و ارزیابی<sup>۳</sup> را نشان دهید. برای تابع هزینه از تابع آنتروپی میان‌طبقه‌ای<sup>۴</sup> استفاده کنید. آموزش مدل را حداقل برای ۱۰ دوره آموزش،<sup>۵</sup> ادامه دهید و نمودار دقت و تابع هزینه داده‌های آموزش و ارزیابی را برحسب دوره‌های آموزش رسم کنید.

راهنمایی: در مورد این سوال به لینک برای keras و به لینک برای Pytorch مراجعه کنید.

بعد از یافتن بهترین معماری شبکه در هر قسمت، در قسمت‌های بعدی نیز از آن استفاده کنید.

### الف: توضیحات مدل شبکه پیچشی

می‌خواهیم یک شبکه عصبی پیچشی<sup>۶</sup> یک لایه را طراحی کنیم که داده‌های مذکور را طبقه‌بندی کند.

- ابتدا داده‌ها را بر اساس راهنمایی بارگذاری<sup>۷</sup> کرده کرده و ۲۰ درصد را برای آزمون و ۸۰ درصد را برای آموزش بردارید. (داده ارزیابی مناسب را از روی دادگان آموزش جدا کنید.)
- از هر طبقه یک عکس را نشان دهید و با طبقه‌های مختلف این دادگان آشنا شوید.
- پیش‌پردازش‌های لازم برای این نوع داده را پیاده کنید و لزوم استفاده از هر یک را بیان کنید.
- حال مدل را پیاده‌سازی می‌کنیم. مدل باید دارای یک لایه باشد و شامل تعداد دلخواه فیلتر دوبعدی و یک عامل ادغام بر اساس بیشینه<sup>۹</sup> دوبعدی در انتهای آن باشد. پس از این لایه یک یا چند لایه تماماً متصل<sup>۱۰</sup> قرار دهید تا عملیات طبقه‌بندی انجام شود (تابع فعال ساز<sup>۱۱</sup> لایه آخر می‌بایست softmax باشد؛ دلیل آن چیست؟).

---

<sup>۱</sup> برای آشنایی و مطالعه بیشتر در مورد این داده می‌توانید به لینک مراجعه کنید.

<sup>۲</sup> Loss

<sup>۳</sup> Validation

<sup>۴</sup> Categorical Cross Entropy

<sup>۵</sup> Epoch

<sup>۶</sup> Convolution

<sup>۷</sup> Load

<sup>۸</sup> Pre-Process

<sup>۹</sup> Max-Pooling

<sup>۱۰</sup> Fully Connected

<sup>۱۱</sup> Activation Function

- تعداد فیلترها، ابعاد پنجره‌ها، طول گام برداشتن<sup>۱۲</sup> و لایه‌گذاری حاشیه‌ای<sup>۱۳</sup> را می‌توانید به صورت دلخواه تعیین کنید و با آزمون و خطا اثر هر یک را متوجه بشوید.
- در روند آموزش مدل، اندازه دسِت داده<sup>۱۴</sup> را برابر با ۶۴ در نظر بگیرید و روش بهینه‌سازی گرادیان نزولی تصادفی<sup>۱۵</sup> با نرخ یادگیری<sup>۱۶</sup> دلخواه با تعداد دوره آموزش مناسب، آموزش دهید.
- معماری شبکه و تعداد پارامترها را گزارش کنید.

### ب: تاثیر لایه مخفی

تعداد لایه‌های مخفی پیچشی را افزایش دهید و نتیجه را بررسی کنید. با ذکر دلیل تعداد لایه مناسب را برای شبکه تعیین کنید (منظور از یک لایه چند فیلتر و یک لایه ادغامی<sup>۱۷</sup> است).

### ج: تاثیر تابع فعال‌ساز

از **تابع فعال‌ساز** تانژانت هیپربولیک و تابع واحد خطی اصلاح شده<sup>۱۸</sup> استفاده کنید و با تحلیل نتیجه مشخص کنید کدام یک از تانژانت هیپربولیک و ReLU تابع فعال‌ساز بهتری برای این مساله است.

### د: تاثیر بهینه‌ساز

با تحلیل نتیجه مشخص کنید کدام یک از بهینه‌سازهای گرادیان نزولی تصادفی و **ADAM** عملکرد بهتری دارد.

### ه: تاثیر حذف تصادفی

تاثیر افزودن لایه **حذف تصادفی**<sup>۱۹</sup> بعد از هر تابع فعال‌ساز را بررسی کنید و سعی کنید در صد بهینه‌د dropout را برای شبکه خود با امتحان چند مقدار مختلف پیدا کنید.

\*\*\* توجه \*\*\*: برای پیاده‌سازی پیشنهاد می‌شود که از کتابخانه **keras** استفاده نمایید اما مانعی برای استفاده از کتابخانه **Pytorch** در این سوال وجود ندارد.

---

<sup>۱۲</sup> Stride

<sup>۱۳</sup> Padding

<sup>۱۴</sup> Batch Size

<sup>۱۵</sup> Stochastic Gradient Descent (SGD)

<sup>۱۶</sup> Learning Rate

<sup>۱۷</sup> Pooling

<sup>۱۸</sup> Rectified Linear Unit (ReLU)

<sup>۱۹</sup> Dropout

## سوال ۲: شبکه عصبی (پرسپترون با چند لایه مخفی)

در این سوال به بررسی عمیق تر شبکه‌های عصبی می‌پردازیم.

### الف: تحلیلی

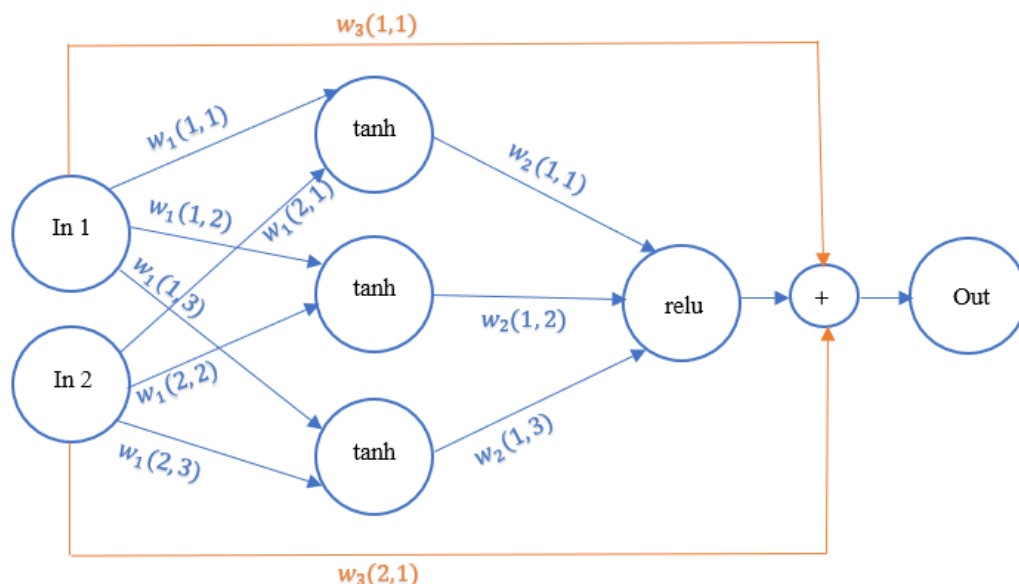
شکل ۱-۲ نشان دهنده یک شبکه عصبی با یک لایه مخفی است و مسیر نارنجی رنگ یک ارتباط میان بر<sup>۲۰</sup> است. با در نظر گرفتن مقادیر زیر برای مولفه‌های مسئله، مقادیر وزن و پیش‌قدر<sup>۲۱</sup> را تا دو مرحله با روش گرادیان نزولی به روز رسانی کنید. تابع هزینه را حداقل مربعات خطا در نظر بگیرید. خروجی مطلوب را برابر صدگان شماره دانشجویی خود قرار دهید. همچنین مقدار نرخ یادگیری را برابر ۰/۱ در نظر بگیرید. مقادیر a و b به ترتیب برابر شماره یکان و دهگان شماره دانشجویی شما هستند. توجه کنید که در این قسمت حل دستی کفایت می‌کند.

$$w_1 = \begin{pmatrix} 1.a & -0.1a & 0.b \\ 0.2b & -1.a & 0.b3 \end{pmatrix}, b_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.b1 \\ 1.a \end{pmatrix}$$

$$w_2 = (1.a5 \quad -0.5b \quad 0.ba), b_2 = 0.1$$

$$w_3 = \begin{pmatrix} -0.a \\ 1.b \end{pmatrix}, b_3 = 0.1$$

$$x = \begin{pmatrix} In1 \\ In2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$



شکل ۱-۲: شمای شبکه‌ی عصبی مورد نظر بخش الف سوال دوم

<sup>۲۰</sup> Skip Connection

<sup>۲۱</sup> Bias

راهنمایی: اگر لایه ی ورودی را با  $x$  و لایه مخفی را با  $z$  و خروجی را با  $y$  نمایش دهیم. خروجی در این قسمت به شکل زیر خواهد بود:

$$y = \text{ReLU} \left( \sum_{j=1}^3 w_2(1, j) z_j + b_2 \right) + \sum_{i=1}^2 w_3(i, 1) x_i + b_3$$

$$z_j = \tanh \left( \sum_{i=1}^2 w_1(i, j) x_i + b_1(j) \right), j = 1, 2, 3$$

## ب: تحقیق

### ب.۱: تابع هزینه رگرسیون

در مسئله ی رگرسیون از توابع هزینه هایی همچون نرم اول<sup>۲۲</sup>، نرم دوم<sup>۲۳</sup> و تابع هزینه هوبر<sup>۲۴</sup> استفاده می گردد. پیرامون توابع مذکور تحقیق کرده و به صورت مختصر به مقایسه این توابع بپردازید.

### ب.۲: استفاده از داده ارزیابی

در صورتی که در هنگام آموزش شبکه، مقدار خطا برای داده های آموزش و ارزیابی به هم بسیار نزدیک شود، به چه معناست؟ توضیح دهید.

### ب.۳: گرادیان نزولی به همراه تکانه

پس از بررسی در منابع توضیح دهید کدام یک از روش های گرادیان نزولی تصادفی<sup>۲۵</sup> و گرادیان نزولی تصادفی همراه با تکانه<sup>۲۶</sup> از سرعت و همگرایی بهتری برخوردار است.

## پ: پیاده سازی شبکه پرسپترون در کاربرد رگرسیون

می دانیم که از شبکه های عصبی می توان برای تقریب توابع<sup>۲۷</sup> استفاده نمود. برای مثال تابع زیر را در نظر بگیرید:

$$f(x, y) = \sin(x + y); (x, y) \in [0, 2\pi] \times [0, 2\pi]; (۲-۱)$$

<sup>۲۲</sup>  $L_1$ -Loss

<sup>۲۳</sup>  $L_2$ -Loss

<sup>۲۴</sup> Huber-Loss

<sup>۲۵</sup> Stochastic Gradient Descent (SGD)

<sup>۲۶</sup> Stochastic Gradient Descent with momentum (SGD with momentum)

<sup>۲۷</sup> Function Approximation

می‌توان با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی تابع فرمول (۲-۱) با در نظر گرفتن محدوده ذکر شده؛ به آموزش یک شبکه عصبی پرداخت به طوریکه تقریبی از تابع باشد.

در این بخش باید شبکه عصبی را پیاده‌سازی و آموزش دهید (بدون استفاده از کتابخانه) بطوریکه تقریبی از تابع  $f(x, y)$  با شد. بدین منظور ابتدا باید دادگان مورد نظر را تولید کرده و سپس به آموزش یک شبکه عصبی با یک لایه مخفی با استفاده از قاعده انتشار پس‌رو<sup>۲۸</sup> پردازید.

### پ.۱: تولید دادگان

جهت تولید دیتاست مورد نظر باید به صورت یکنواخت از بازه  $[0, 2\pi] \times [0, 2\pi]$  نمونه برداری نمایید (برای مثال حدود ۱۰۰۰۰ نقطه) و به عنوان ورودی شبکه ذخیره نمایید. سپس برای هر نقطه خروجی تابع  $f(x, y)$  برای آن نقطه را به عنوان برچسب<sup>۲۹</sup> در نظر بگیرید. سپس این دیتاست را به بخش‌های آموزش، ارزیابی و آزمون تقسیم کرده و استفاده نمایید.

### پ.۲: پیش‌پردازش

توجه نمایید که به عنوان پیش‌پردازش بر روی دادگان مورد نظر، مناسب است که داده ورودی نرمال گردد.

### پ.۳: پیاده‌سازی مدل

از یک شبکه عصبی ساده پرسپترون چندلایه<sup>۳۰</sup> با یک لایه مخفی استفاده نمایید که به صورت پایه‌ای تو سط خود شما پیاده‌سازی شده است (از کتابخانه‌های آماده نمی‌توانید استفاده کنید). همچنین می‌توانید از توابع فعال‌ساز ReLU استفاده کنید، تابع هزینه را نیز نرم دوم در نظر گرفته و از روش گرادیان نزولی تصادفی برای آموزش شبکه استفاده نمایید. توجه بفرمایید که تمامی موارد مذکور در صورت صلاحدید شما می‌توانند جهت عملکرد بهتر تغییر کنند.

---

<sup>۲۸</sup> Back Propagation

<sup>۲۹</sup> Label

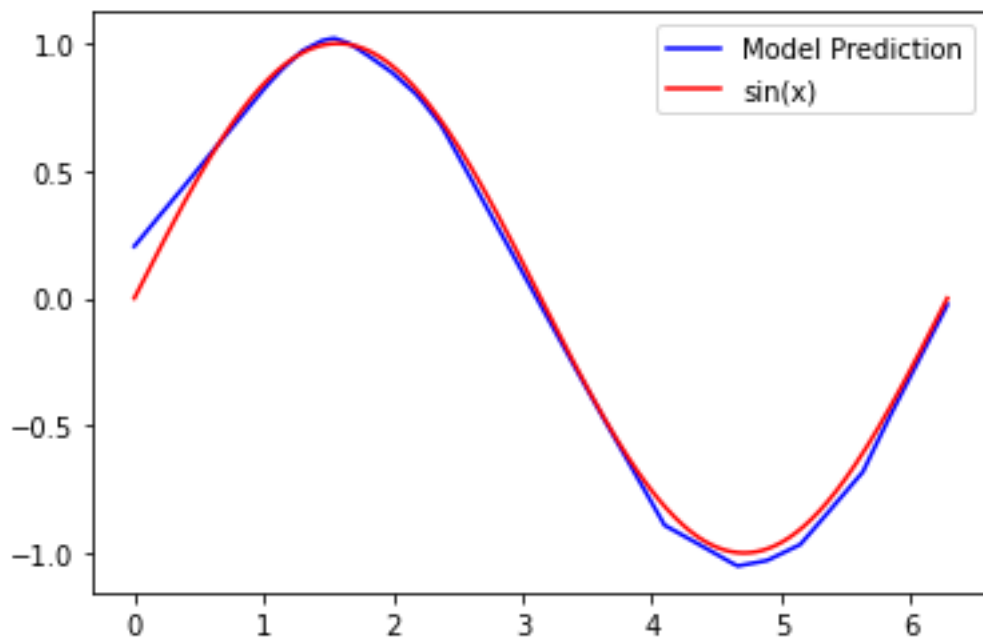
<sup>۳۰</sup> Multi-Layer Perceptron (MLP)

#### پ.۴: ارزیابی مدل

جهت ارزیابی فرآیند آموزش، نمودارهای خطای آموزش و ارزیابی را رسم نمایید و مقدار خطای نرم دوم را برای داده‌های آزمون گزارش کنید. همچنین در انتها از مدل آموزش دیده شده برای رسم تابع بر روی محور  $x$  استفاده نمایید. برای اینکار ابتدا در نظر بگیرید:

$$g(x) = f(x, 0) = \sin(x); x \in [0, 2\pi]$$

از شبکه عصبی آموزش دیده شده برای رسم نمودار برای نقاط  $x \in [0, 2\pi]$  استفاده کنید و با نمایش همزمان نمودار  $\sin(x)$  به بررسی عملکرد مدل خود بپردازید. برای مثال نمودار شما باید مانند شکل زیر باشد.



شکل ۲-۲: نمودار رسم خروجی مدل (خط آبی) و مقدار خود تابع (خط قرمز)



## نکات:

- مهلت تحویل این تمرین، جمعه ۱۲ آذر است.
- انجام این تمرین به صورت یک نفره است.
- برای انجام تمرین‌ها فقط مجاز به استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی Python و MATLAB خواهید بود. در سؤالاتی که از شما خواسته شده است یک الگوریتم را پیاده سازی کنید مجاز به استفاده از توابع آماده نمی‌باشید مگر اینکه در صورت سوال مجاز بودن استفاده از این توابع یا کتابخانه‌ها صریح ذکر شده باشد.
- کدهای مربوط به هر تمرین می‌بایست در پوشه‌ای با نام Codes در کنار گزارش کار شما موجود باشد. این کدها باید خوانا و به صورت مرتبط نام گذاری شده باشند، لذا توضیحات لازم را به صورت یادداشت<sup>۳۱</sup> در کدهای خود قرار دهید.
- گزارش شما در فرآیند تصحیح از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لطفاً تمامی نکات و مفروضاتی که برای پیاده‌سازی‌ها و محاسبات خود در نظر می‌گیرید را در گزارش ذکر کنید.
- الزامی به ارائه توضیح جزئیات کد در گزارش نیست، ولیکن تحلیل و تفسیر نتایج بدست آمده الزامی است.
- گزارش‌ها تنها در قالب تهیه شده که روی صفحه درس در سامانه Elearn بارگذاری شده، تصحیح خواهند شد و به قالب‌های دیگر نمره‌ای تعلق نخواهد گرفت.
- در گزارش استفاده از زیرنویس برای تصاویر و بالانویس برای جداول الزامی است.
- در صورت مشاهده تقلب نمرات تمامی افراد شرکت‌کننده در آن ۱۰۰- لحاظ می‌شود.
- لطفاً گزارش، فایل کدها و سایر ضوابط مورد نیاز را با ترتیب نام‌گذاری زیر در صفحه درس در سامانه یادگیری الکترونیکی بارگذاری نمایید.

HW[HW Number]\_[LastName]\_[StudentNumber].zip

- در صورت وجود هرگونه ابهام یا مشکل می‌توانید از طریق رایانامه‌های زیر با دستیاران آموزشی مربوطه در تماس باشید:

سرکارخانم مسعود – سوال ۱ – رایانامه { [mahsamassoud@gmail.com](mailto:mahsamassoud@gmail.com) }

سرکارخانم جعفریان – سوال ۲ – رایانامه { [jafarian.fateme7899@gmail.com](mailto:jafarian.fateme7899@gmail.com) }

جناب آقای رکنی – سوال ۲ – رایانامه { [a.rokni@ut.ac.ir](mailto:a.rokni@ut.ac.ir) }

---

<sup>۳۱</sup> comment