



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر

پروژه اول درس رایانش عصبی

نگارش
سیدمهدی میرفندرسکی
مدرس
دکتر رضا صفابخش
آبان ۱۴۰۱

فهرست مطالب

۱	سوال اول	۲
۲	سوال دوم	۲
۳	سوال سوم	۲
۴	سوال چهارم	۶
۵	سوال پنجم	۸
۶	سوال ششم	۸
۷	پایوست	۱۰

۱ سوال اول

تنها آدالاین می‌تواند در مسائل جداپذیر خطی به دقت ۱۰۰ درصد نرسد. اما پرسپترون در اینگونه مسائل به دقت ۱۰۰ درصد خواهد رسید. علت این اتفاق این است که قاعده اصلاح وزن‌های پرسپترون با استفاده از خروجی نهایی (پیش‌بینی نهایی کلاس توسط پرسپترون برای داده) تعریف شده است. این بدان معنا خواهد بود که هنگامی که دقت مدل به ۱۰۰ درصد برسد، وزن‌ها تغییری نخواهند کرد. اما در آدالاین حتی اگر مدل در یک ای‌پاک به دقت ۱۰۰ درصد برسد، بازهم اصلاح وزن‌ها ادامه پیدا می‌کند چون در قاعده اصلاح آدالاین خروجی پیوسته قبل از پیش‌بینی کلاس استفاده می‌شود. به بیان دیگر خروجی خطی مدل (پیوسته) خیلی از داده‌ها بر روی وزن‌ها تاثیر زیادی می‌گذارند که این عدم دستیابی به دقت ۱۰۰ را رقم می‌زند.

۲ سوال دوم

برای این مجموعه داده تقریباً جداپذیر خطی آدالاین مناسب‌تر خواهد بود. در ابتدا گفته شده است که آدالاین سریع‌تر همگرا می‌شود. اما نکته اصلی درباره آدالاین این است که با توجه به ترم موجود در قاعده اصلاح آن که بر اساس مقدار پیوسته خروجی است، این امکان را فراهم می‌آورد که مقدار خطا واقعی تر بر اساس (مکان) داده باشد و این مقادیر بهتری برای ما به ارمغان خواهد آورد.

۳ سوال سوم

برای آموزش پرسپترون برای دو مجموعه داده اول و دوم به صورت زیر عمل می‌کنیم. ابتدا مجموعه‌ای از نرخ‌های یادگیری و ای‌پاک را در نظر می‌گیریم. سپس صحت (نمودار صحت به نسبت دقت برای این مسائل بهتر خواهد بود) در زمان آموزش را برای هر دو مجموعه آموزش و تست بدست می‌آوریم و در نهایت ابرپارامترهای آموزشی را مشخص می‌کنیم. در سوال سوم (ج) تنها تابع فعالیت step و در سوال چهارم (د) تابع identity در نظر گرفته شدند. این بدان دلیل است که نتایج قابل قبول بودند و نیازی به بررسی توابع فعالیت مختلف وجود نداشت. همچنین برای تمامی بخش‌ها تمامی نمودارها در پیوست موجود هستند.

۱.۳ مجموعه داده اول (تقریباً جداپذیر خطی)

همانطور که در ادامه مشاهده می‌شود نرخ یادگیری 0.001 به بالا و حداقل تعداد epoch ۱۰ مناسب آموزش خواهد بود. البته با توجه به نمودارهای موجود در پیوست بهترین نرخ یادگیری 0.001 خواهد بود.

۱.۱.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.52	0.63	0.73125	0.389375	0.59875	0.9825
صحت مجموعه تست	0.495	0.635	0.6825	0.4	0.5575	0.9775

۲.۱.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.370625	0.98125	0.985	0.98375	0.98125	0.9825
صحت مجموعه تست	0.3575	0.9775	0.9825	0.98	0.98	0.975

۳.۱.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.983125	0.980625	0.9825	0.984375	0.98375	0.9825
صحت مجموعه تست	0.98	0.9775	0.98	0.98	0.98	0.98

۴.۱.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.98125	0.979375	0.983125	0.983125	0.981875	0.981875
صحت مجموعه تست	0.9775	0.9775	0.975	0.98	0.98	0.9825

۵.۱.۳ نرخ یادگیری ۰.۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.983125	0.979375	0.983125	0.9825	0.98	0.981875
صحت مجموعه تست	0.9725	0.9775	0.9775	0.98	0.9775	0.975

۶.۱.۳ نرخ یادگیری ۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.966875	0.98125	0.979375	0.981875	0.98	0.980625
صحت مجموعه تست	0.955	0.975	0.9775	0.9825	0.975	0.975

۲.۳ مجموعه داده دوم (جداپذیر خطی)

همانطور که در ادامه مشاهده می‌شود نرخ یادگیری 0.001 به بالا و حداقل تعداد epoch ۱۰ مناسب آموزش خواهد بود. البته با توجه به نمودارهای موجود در پیوست بهترین نرخ یادگیری متنوعی داریم. این به علت خطی جدایی پذیر بودن آن است.

۱.۲.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.72875	0.624375	0.475	0.99625	0.670625	0.481875
صحت مجموعه تست	0.7275	0.5975	0.455	0.9925	0.66	0.4625

۲.۲.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.921875	0.999375	1.0	1.0	1.0	1.0
صحت مجموعه تست	0.895	0.995	0.9975	0.9975	1.0	1.0

۳.۲.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
صحت مجموعه تست	1.0	0.9975	1.0	0.9975	1.0	1.0

۴.۲.۳ نرخ یادگیری ۰.۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
صحت مجموعه تست	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9975

۵.۲.۳ نرخ یادگیری ۰.۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
صحت مجموعه تست	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

۶.۲.۳ نرخ یادگیری ۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
صحت مجموعه تست	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9975

۴ سوال چهارم

دلیل این تبدیل به خاطر معماری طراحی شده آدالاین است. خروجی تولید شده آدالاین یک تابع دوقطبی است. که برچسب‌های مجموعه داده برای منطبق شدن با این خروجی باید دوقطبی باشند (۱- و ۱). به این دلیل برچسب‌های کلاس صفر را به منفی یک تبدیل می‌کنیم.

۱.۴ مجموعه داده اول (تقریباً جداپذیر خطی)

همانطور که در ادامه مشاهده می‌شود نرخ یادگیری 0.001 به بالا و حداقل تعداد epoch ۱۰ مناسب آموزش خواهد بود. البته با توجه به نمودارهای موجود در پیوست بهترین نرخ یادگیری 0.001 خواهد بود. مقادیر بالاتر از این مقدار دارای نوسان هستند و مناسب نخواهند بود.

۱.۱.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.505625	0.591875	0.524375	0.57875	0.82375	0.811875
صحت مجموعه تست	0.4775	0.56	0.505	0.59	0.79	0.785

۲.۱.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.92625	0.9025	0.90625	0.938125	0.94375	0.981875
صحت مجموعه تست	0.9125	0.8825	0.8775	0.91	0.92	0.98

۳.۱.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.98375	0.98375	0.98375	0.98375	0.98375	0.98375
صحت مجموعه تست	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

۴.۱.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.98375	0.983125	0.983125	0.981875	0.981875	0.9825
صحت مجموعه تست	0.9825	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

۵.۱.۴ نرخ یادگیری ۰.۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.9575	0.97125	0.973125	0.98125	0.98375	0.98375
صحت مجموعه تست	0.9475	0.9675	0.9675	0.9775	0.98	0.9825

۲.۴ مجموعه داده دوم (جدایپذیر خطی)

به پاسخ سوال اول در این قسمت توجه شود. همانطور که در بعضی نمودارها مشاهده می‌شود در صورت ادامه‌دار بودن آموزش دقت ۱۰۰ درصد را از دست خواهیم داد. اما به طور کلی همانطور که در ادامه مشاهده می‌شود نرخ یادگیری 0.0001 به بالا و حداقل تعداد ۵۰ epoch مناسب آموزش خواهد بود.

۱.۲.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.876875	0.61375	0.79	0.68125	0.991875	0.50875
صحت مجموعه تست	0.8775	0.605	0.7425	0.66	0.975	0.4675

۲.۲.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.978125	0.9975	0.998125	1.0	0.999375	0.9975
صحت مجموعه تست	0.97	0.99	0.995	1.0	0.995	0.9925

۳.۲.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.994375	0.994375	0.994375	0.994375	0.994375	0.994375
صحت مجموعه تست	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925

۴.۲.۴ نرخ یادگیری ۰.۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.995625	0.994375	0.994375	0.994375	0.994375	0.994375
صحت مجموعه تست	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925

۵ سوال پنجم

همانطور که در بعضی نمودارهای آدالاین در مجموعه داده دوم مشاهده می شود در صورت ادامه دار بودن آموزش دقت ۱۰۰ درصد را از دست خواهیم داد. اما درباره سوال دوم که آدالاین گفته شد بهتر است، این مطلب شاید صادق نباشد. درواقع این دو خیلی نزدیک به هم عمل کردند و حتی در یک مورد پرسپترون از آدالاین با اختلاف 0.000625 بهتر عمل کرد.

۶ سوال ششم

برای حل این مسئله از آدالاین درجه دوم استفاده می کنیم. در این روش با اضافه نمودن ضرایبی درجه دوم ویژگی اول و دوم و همچنین ضریب ترکیب ویژگی اول و دوم، این نوروں قادر خواهد بود که این مسئله را حل کند. البته لازم به ذکر است که این مسئله با نسخه batch آن نیز حل شد، که مقدار اندازه batch برابر با ۱۰۰ بود. به عبارتی دیگر جدول ها و نمودارها بر اساس این نسخه از آدالاین هستند.

همانطور که در جداول و همچنین در نمودارهای پیوست واضح است بهترین مقدار نرخ یادگیری برابر 0.1 خواهد بود. همچنین مقدار epoch آن حداقل برابر ۳۰ اگر باشد، عالی است.

۱.۰۶ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.2546875	0.736875	0.3725	0.4009375	0.5028125	0.4421875
صحت مجموعه تست	0.28	0.70875	0.36125	0.39625	0.48875	0.4325

۲.۰۶ نرخ یادگیری ۰.۰۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.314375	0.285	0.2709375	0.50625	0.57625	0.7121875
صحت مجموعه تست	0.3	0.2625	0.25	0.52125	0.58375	0.7075

۳.۰۶ نرخ یادگیری ۰.۰۰۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.38625	0.956875	0.9334375	0.749375	0.9328125	0.5703125
صحت مجموعه تست	0.385	0.95125	0.92	0.7475	0.92625	0.55375

۴.۰۶ نرخ یادگیری ۰.۰۱

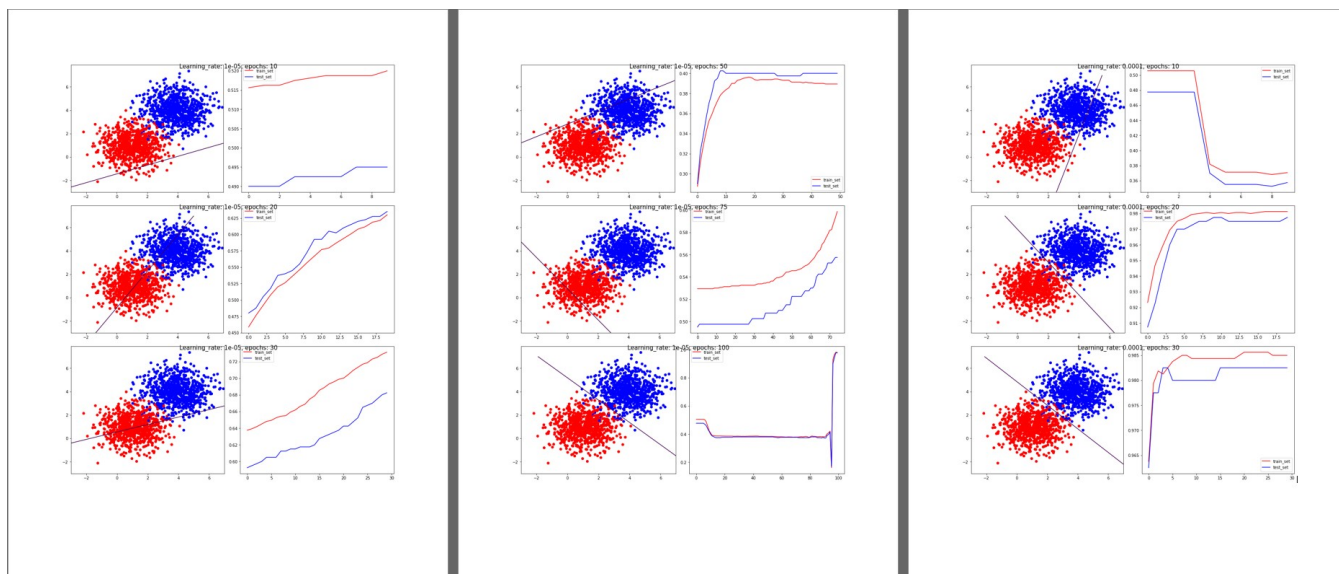
۵.۰۶ نرخ یادگیری ۰.۱

مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.9896875	0.9575	0.9378125	0.99625	0.975	0.9625
صحت مجموعه تست	0.9825	0.95	0.92875	0.99125	0.9775	0.96125

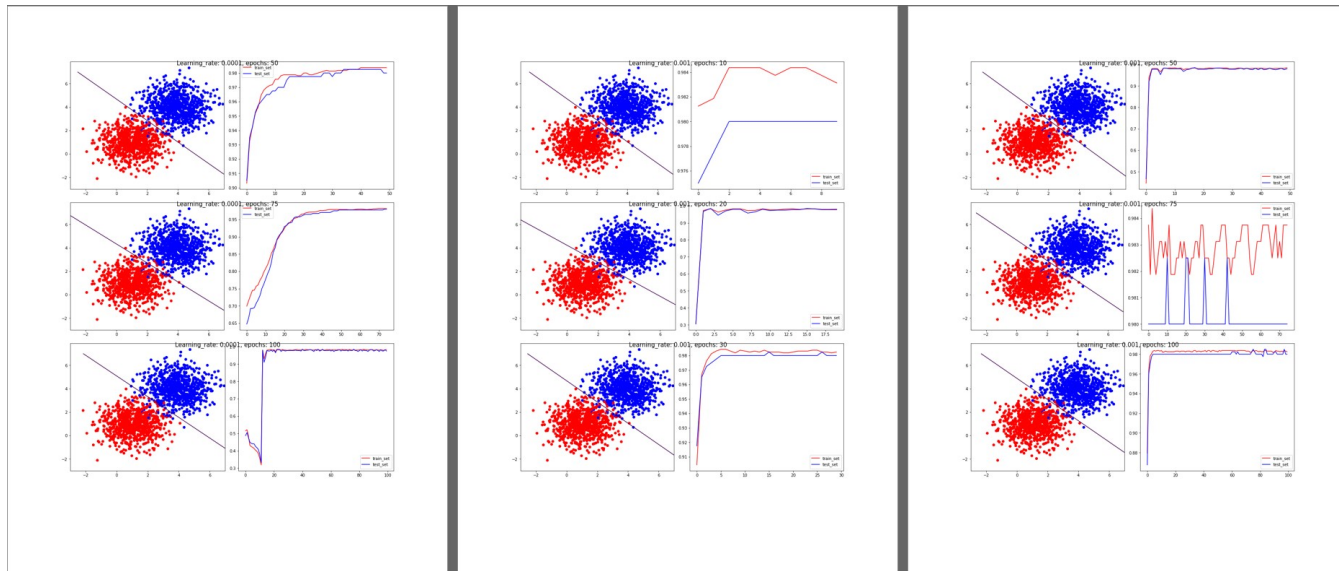
مجموعه/epoch	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۷۵	۱۰۰
صحت مجموعه آموزشی	0.9909375	0.9975	0.9978125	0.998125	0.998125	0.9984375
صحت مجموعه تست	0.98875	0.99625	0.99625	0.99875	0.9975	0.99875

۷ پیوست

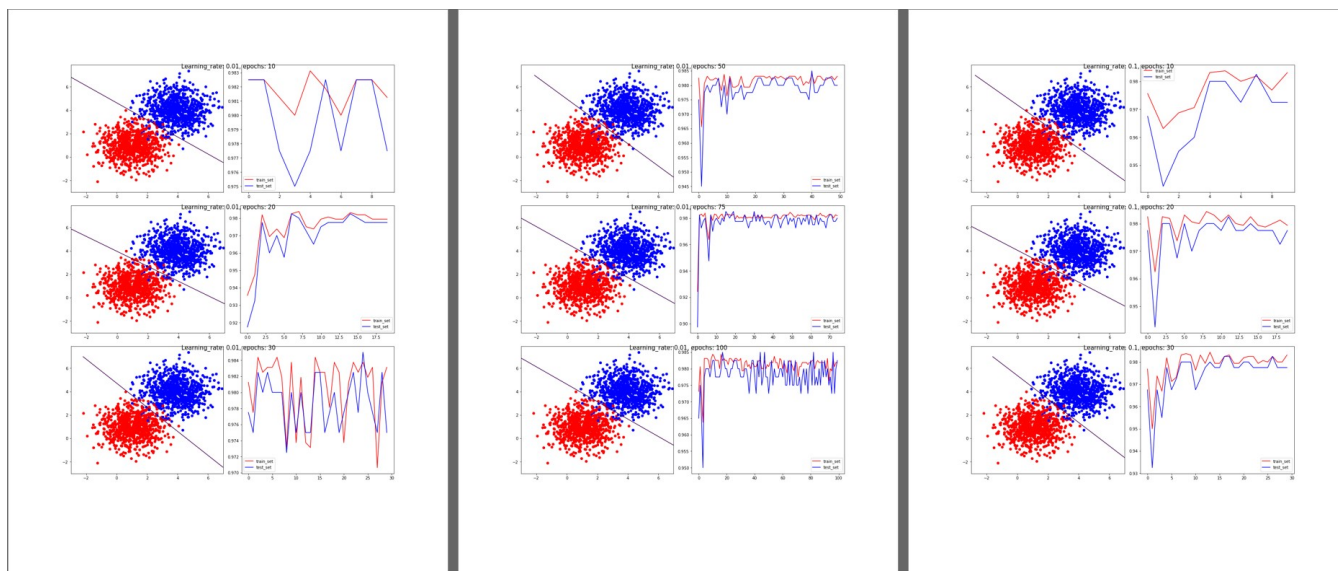
۱.۰.۷ پرسپترون مجموعه داده اول



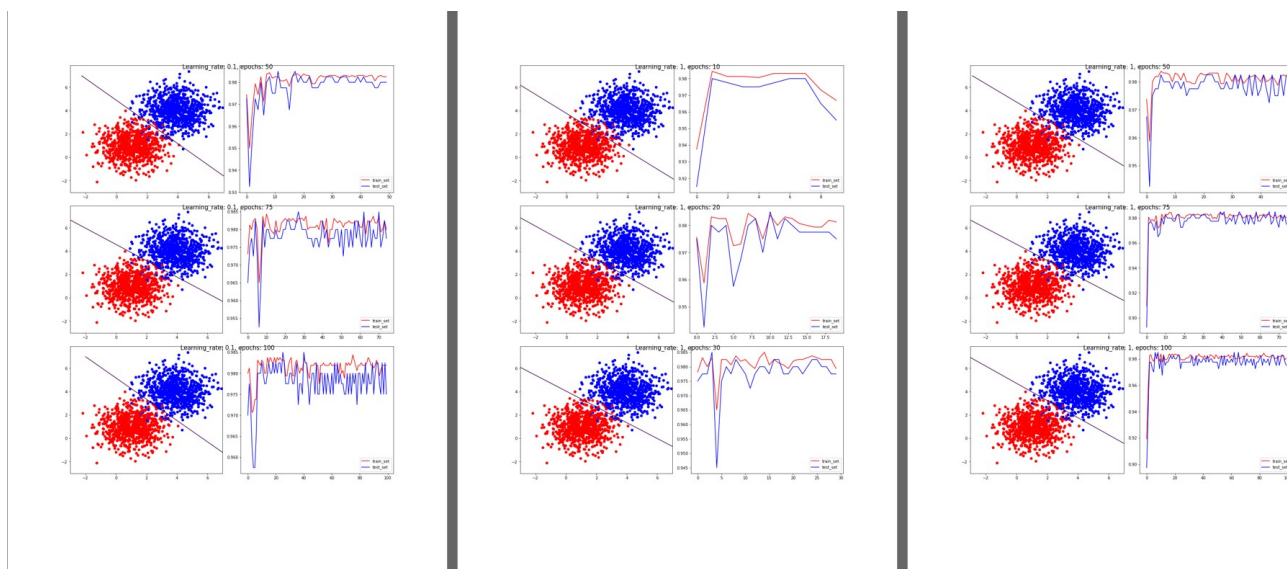
شکل ۱: پرسپترون نمودار ۱



شکل ۲: پرسپترون نمودار ۲

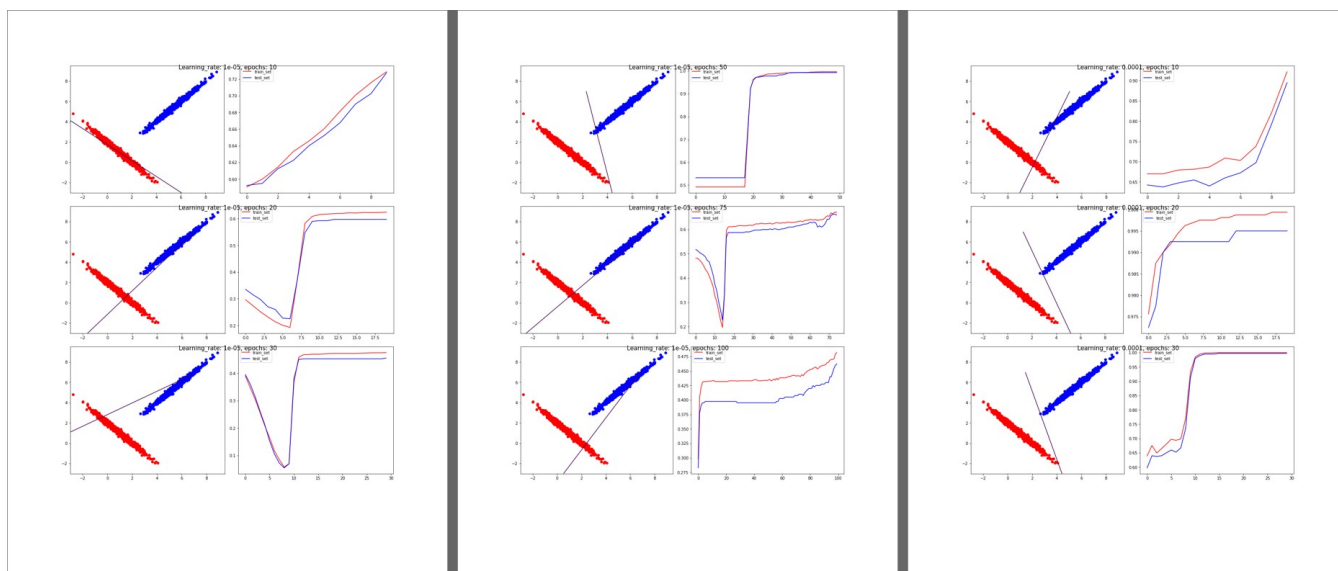


شکل ۳: پرسپترون نمودار ۳

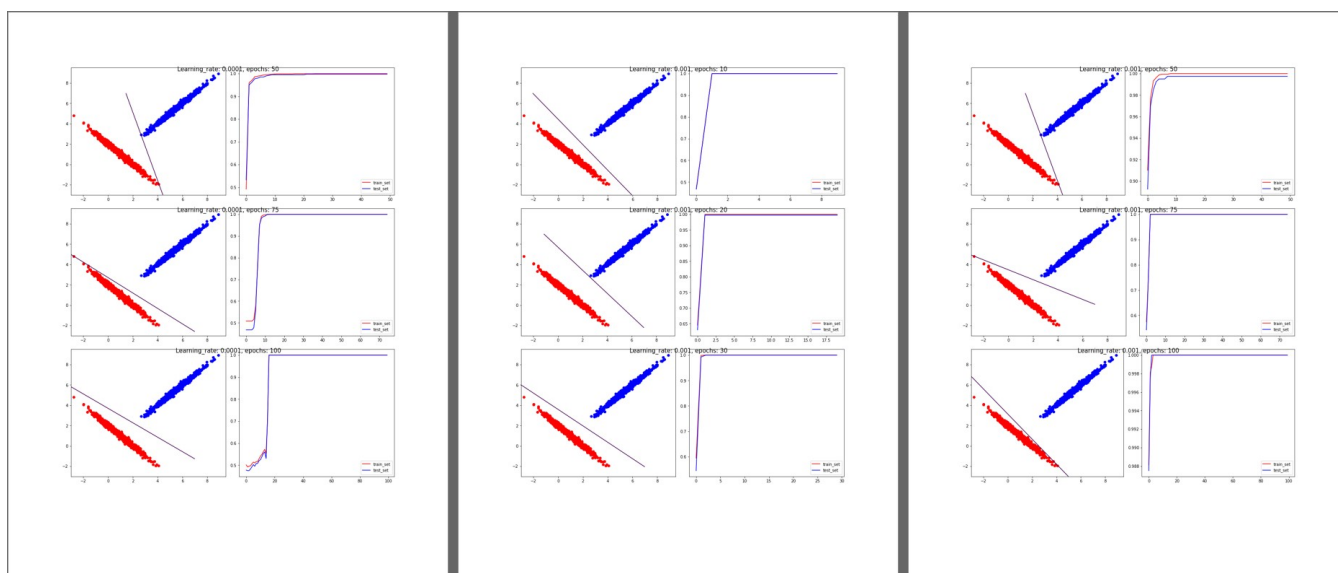


شکل ۴: پرسپترون نمودار ۴

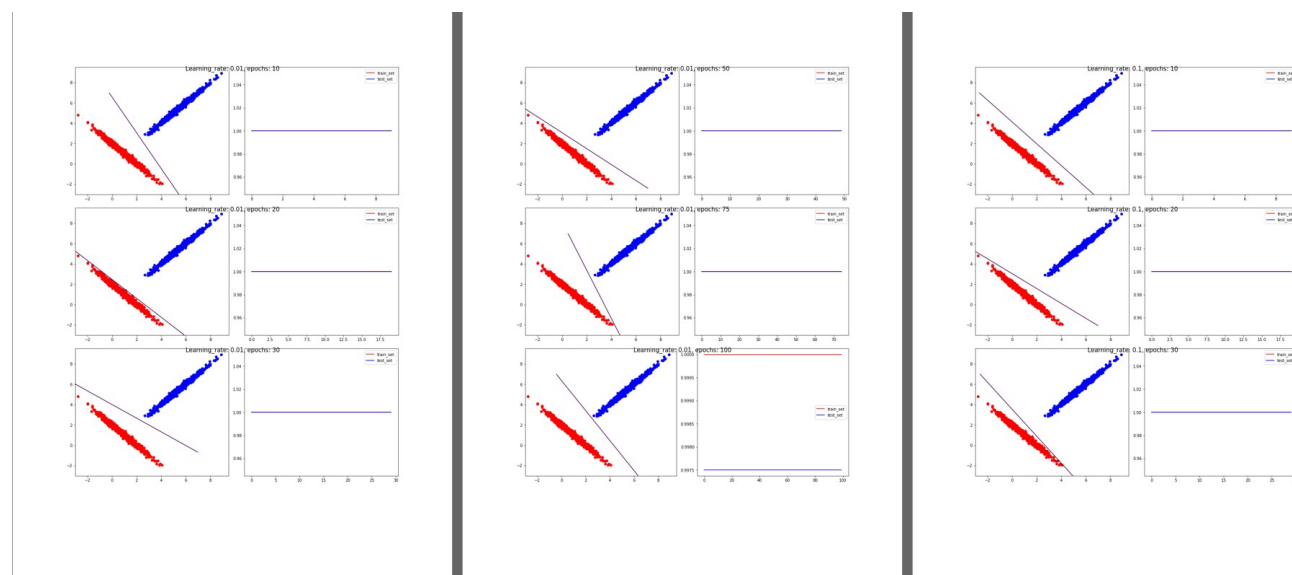
۲۰۰۷ پرسپترون مجموعه داده دوم



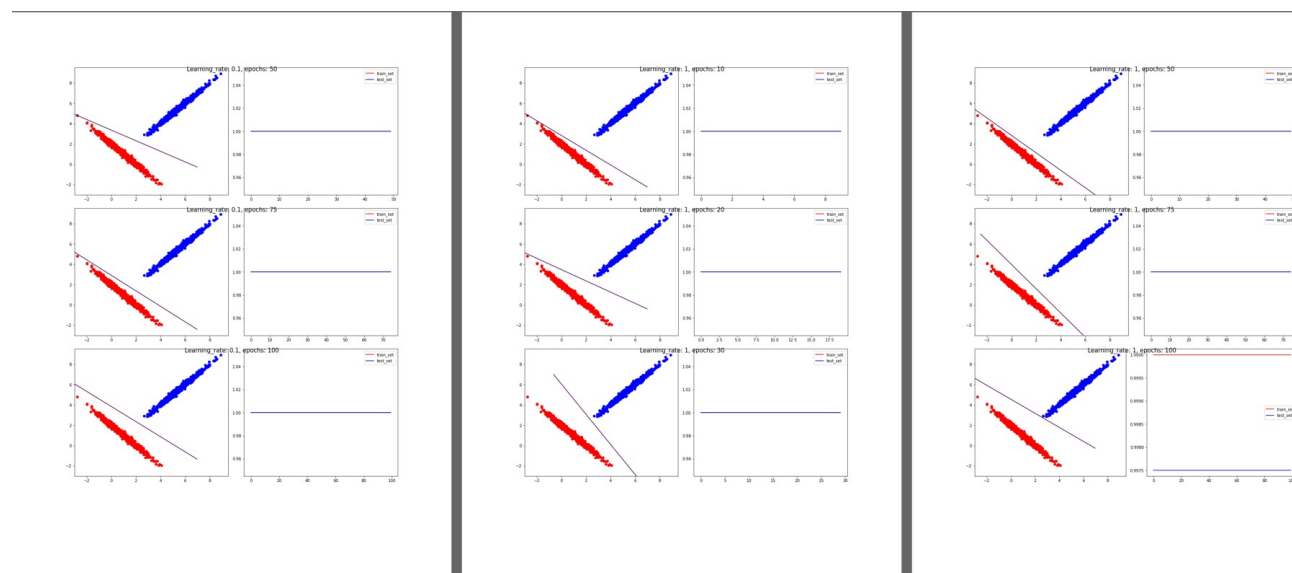
شکل ۵: پرسپترون نمودار ۱



شکل ۶: پرسپترون نمودار ۲

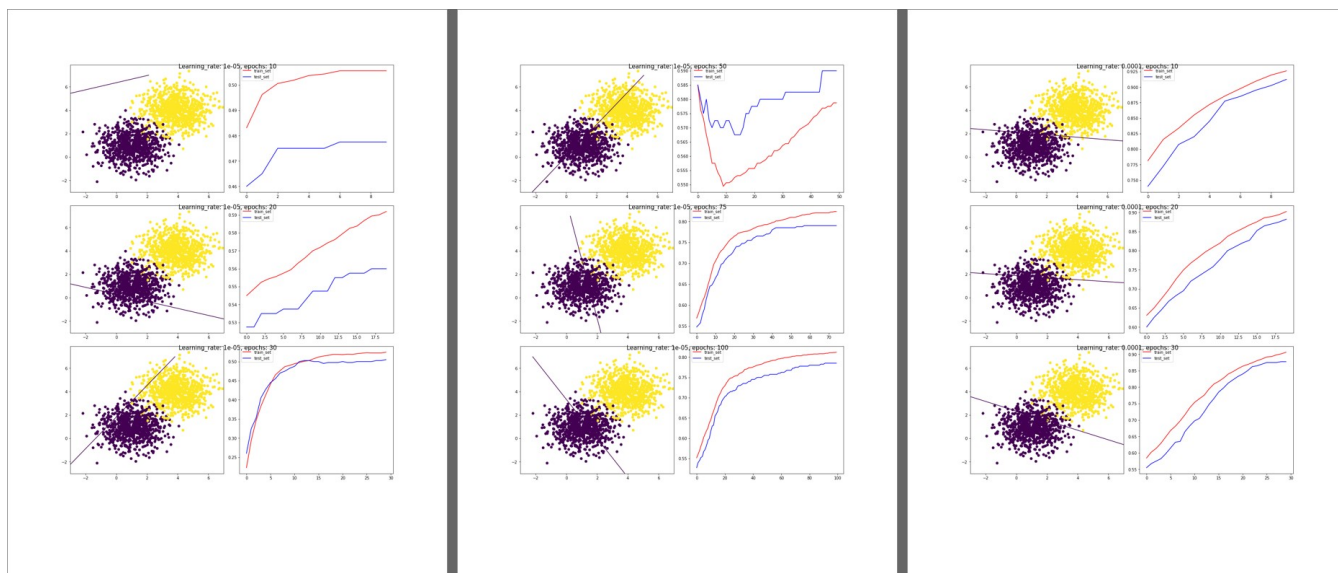


شکل ۷: پرسپترون نمودار ۳

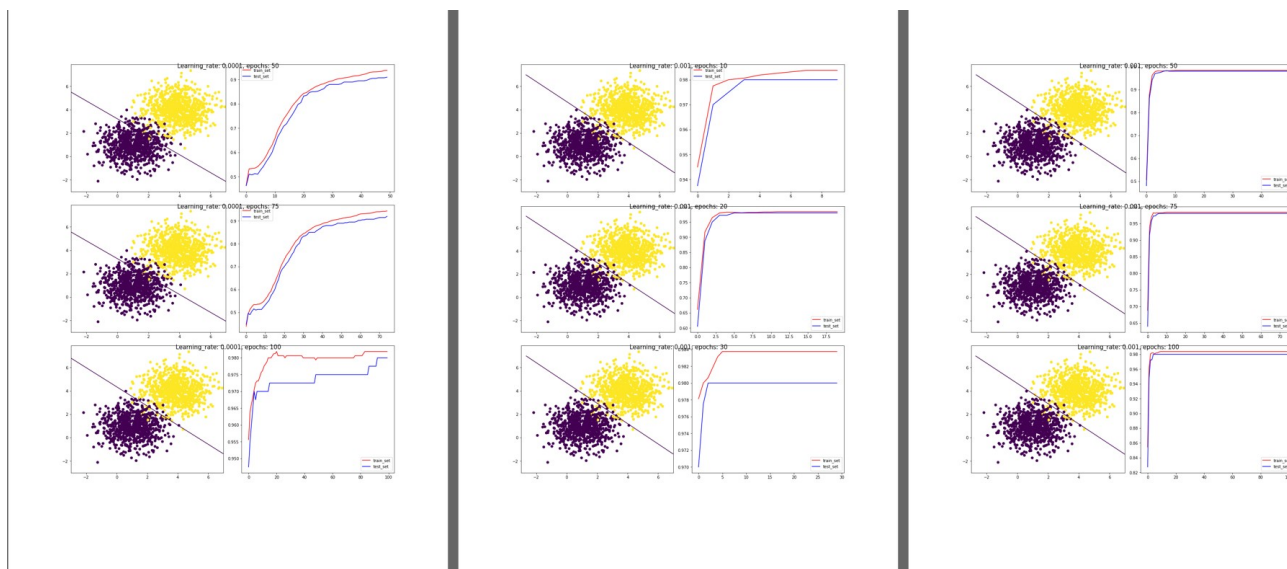


شکل ۸: پرسپترون نمودار ۴

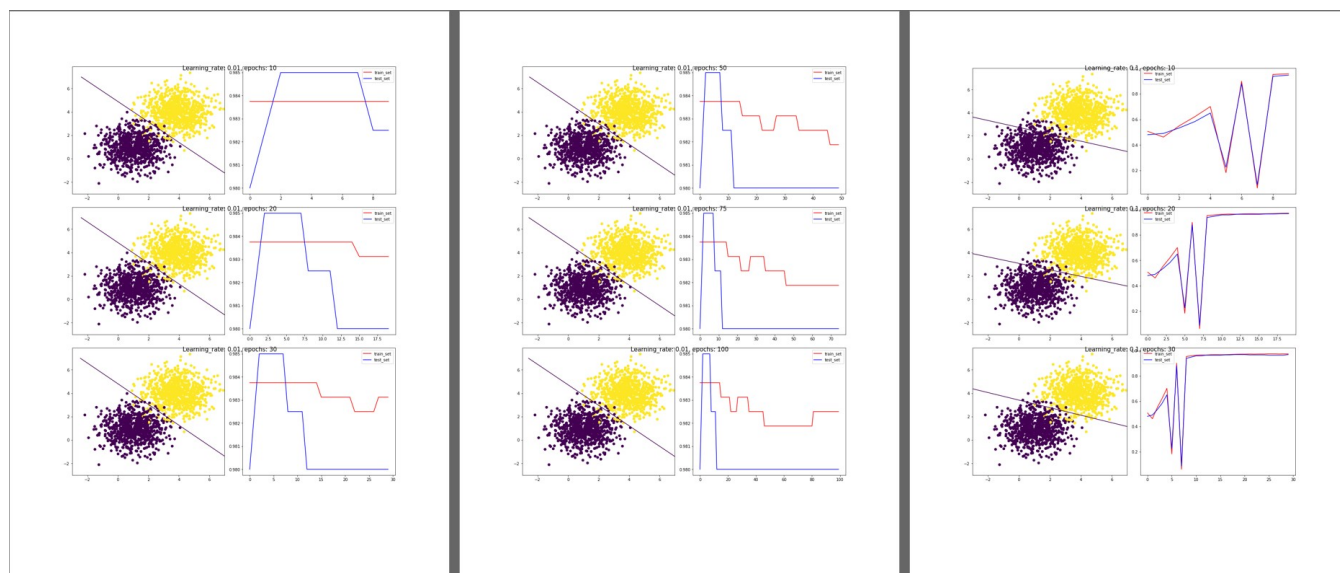
۳۰.۷ آدالاین مجموعه داده اول



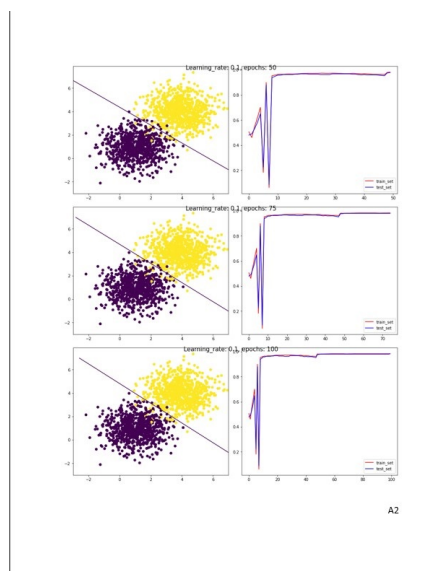
شکل ۹: آدالاین نمودار ۱



شکل ۱۰: آدالاین نمودار ۲

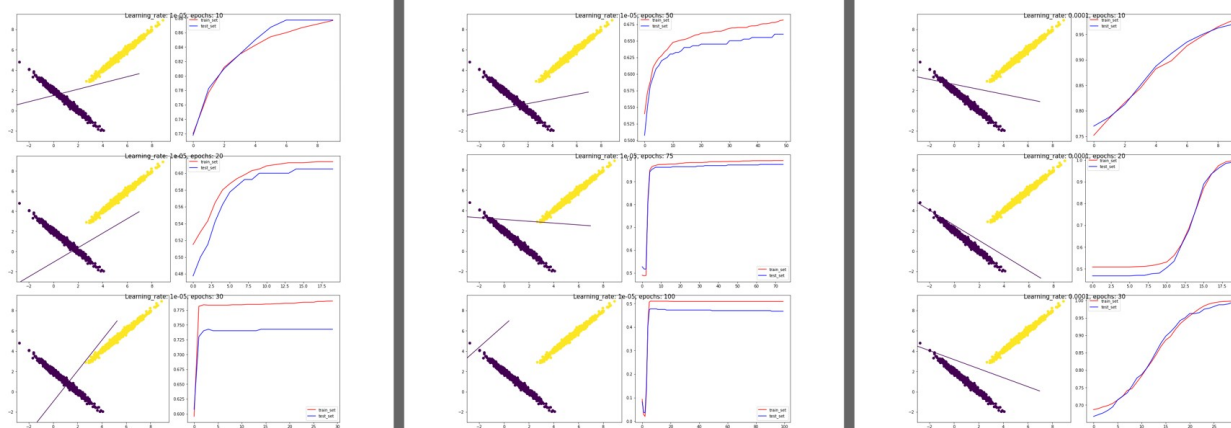


شکل ۱۱: آدالاین نمودار ۳

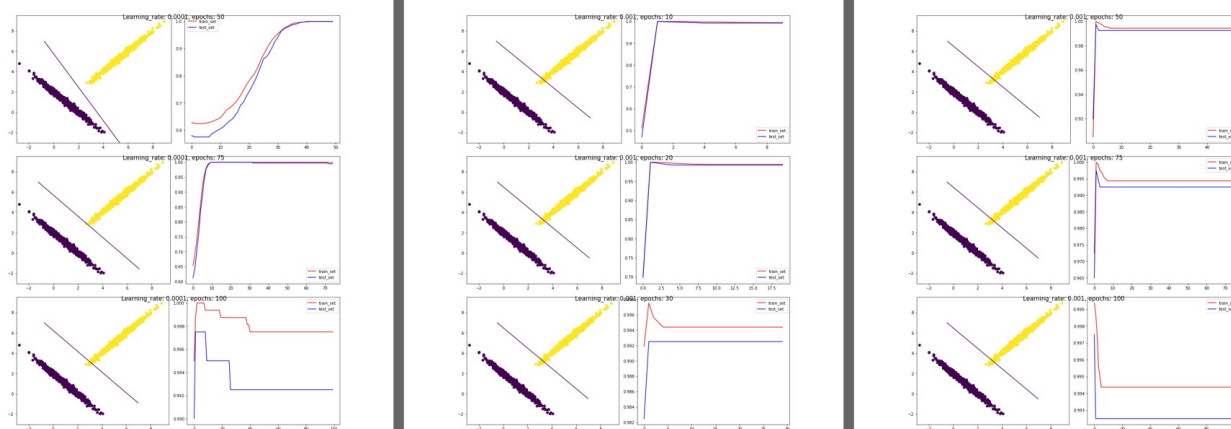


شکل ۱۲: آدالاین نمودار ۴

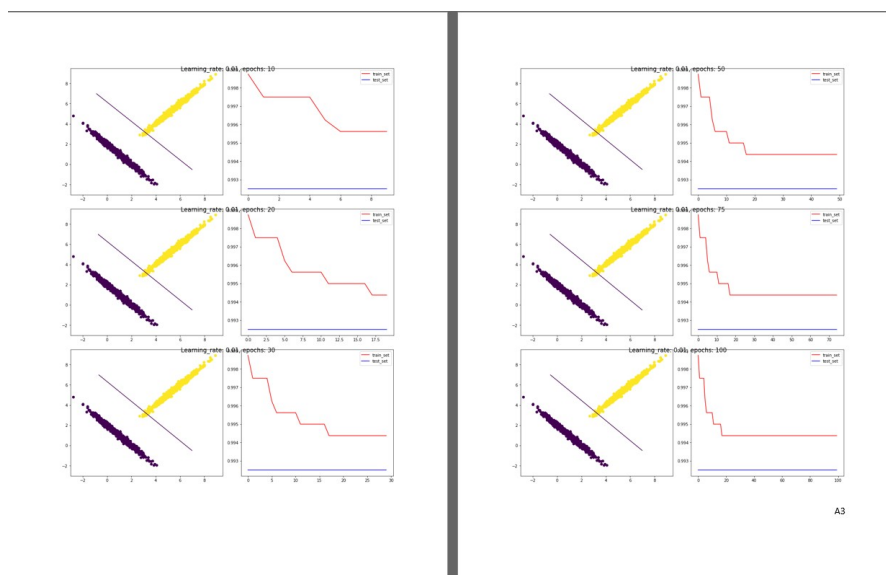
۴۰.۷ آدالاین مجموعه داده دوم



شکل ۱۳: آدالاین نمودار ۱



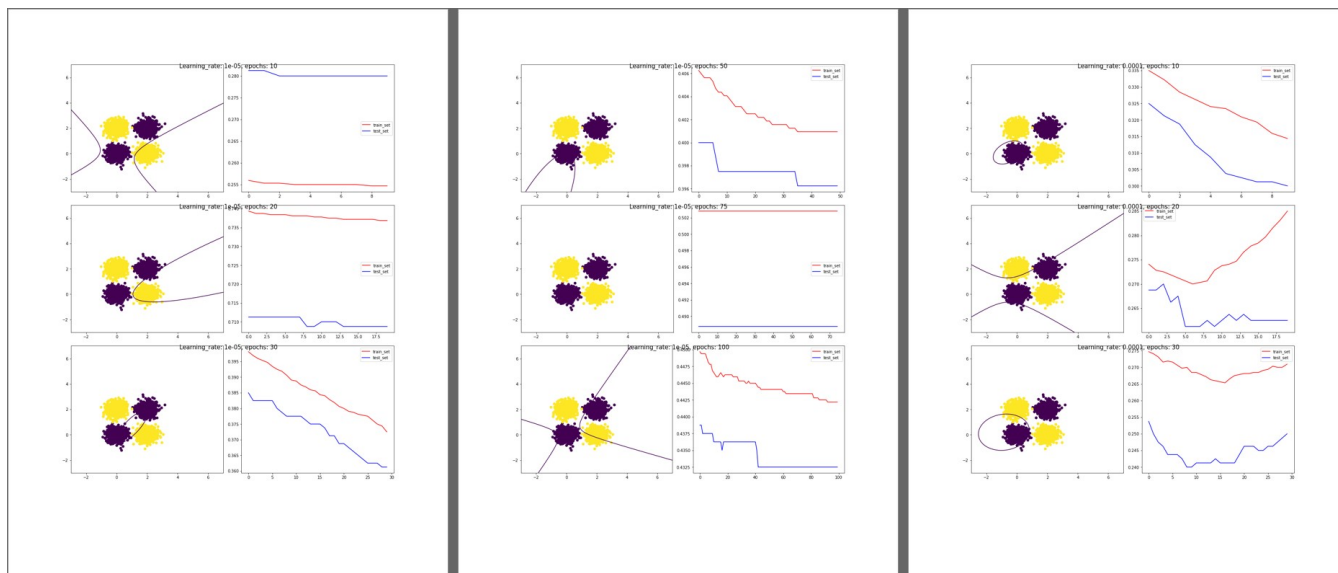
شکل ۱۴: آدالاین نمودار ۲



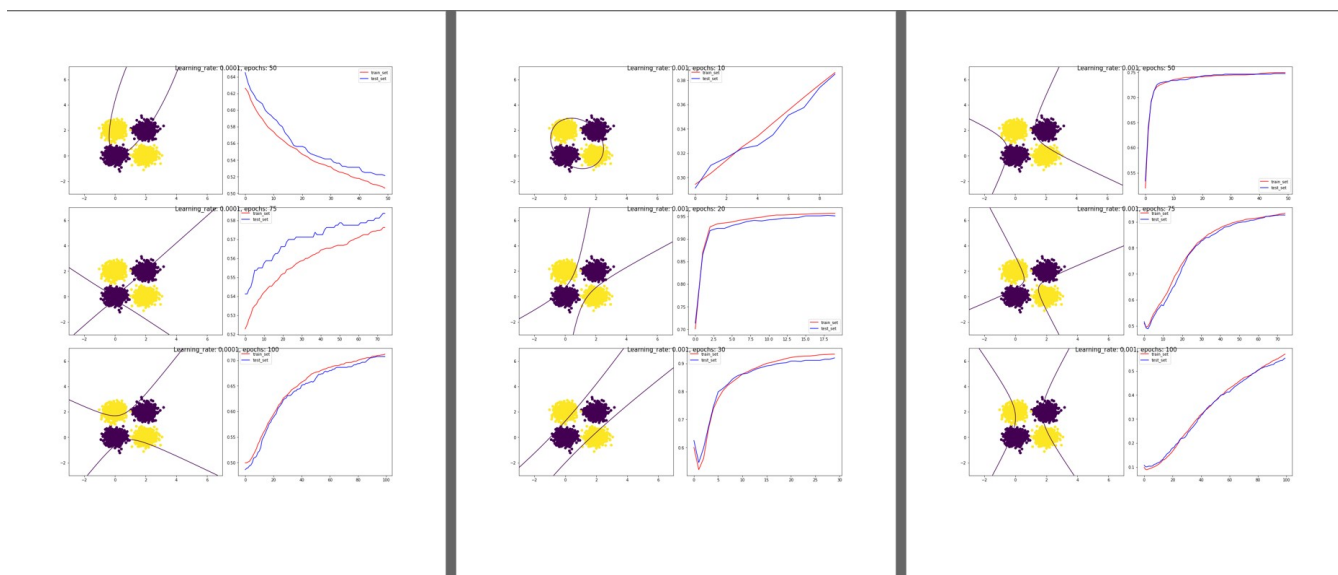
A3

شکل ۱۵: آدالاین نمودار ۳

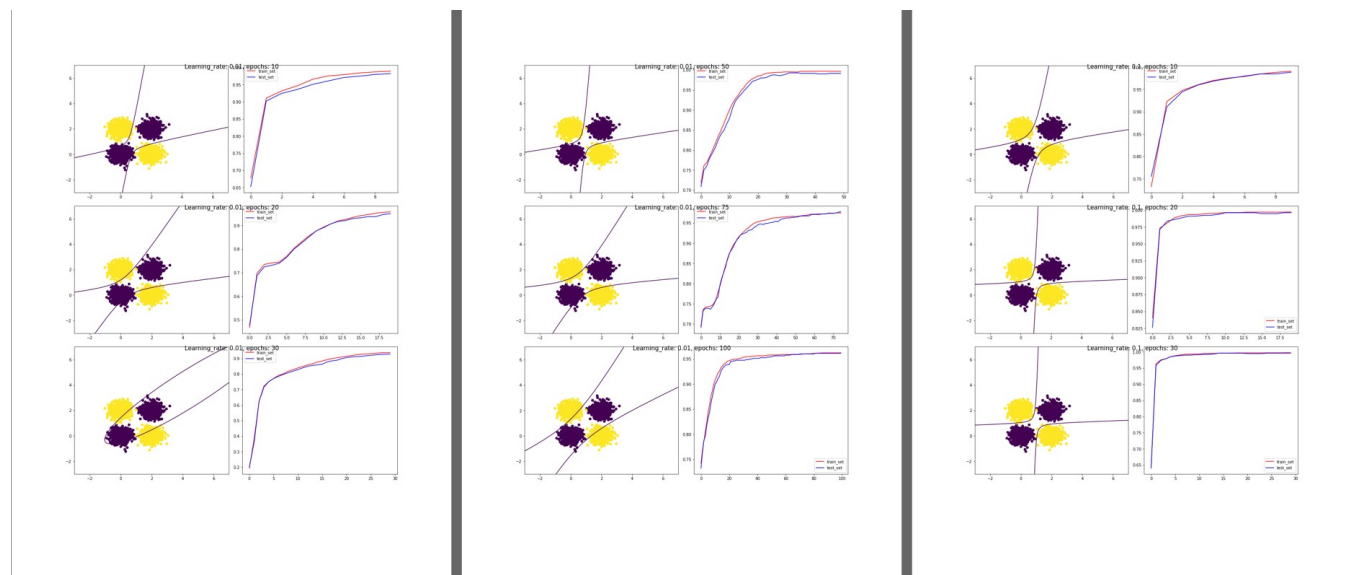
۵.۰۷ آدالاین مجموعه داده سوم



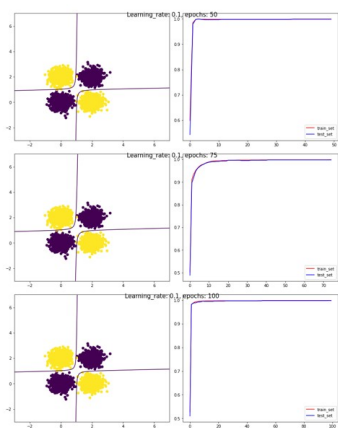
شکل ۱۶: آدالاین نمودار ۱



شکل ۱۷: آدالاین نمودار ۲



شکل ۱۸: آدالاین نمودار ۳



شکل ۱۹: آدالاین نمودار ۴