

۱. نتایج فاز اول: استخراج ویژگی و طبقه‌بندی ابتدایی

در این بخش، عملکرد مدل‌های طبقه‌بندی مختلف بر پایه سه سطح متفاوت از ویژگی‌های استخراج شده از مدل ResNet18 مورد ارزیابی قرار گرفت. ویژگی‌ها به سه دسته تقسیم شدند: ویژگی‌های سطح پایین (تا لایه maxpool)، ویژگی‌های میانی (تا پایان layer2) و ویژگی‌های سطح بالا (تا لایه avgpool). برای هر سطح، شش مدل طبقه‌بندی مختلف شامل Logistic، Random Forest، KNN، SVM، Gaussian NB و Extra Trees، Regression آزمایشی بررسی شد.

۱. ویژگی‌های سطح پایین (Low-Level Features):

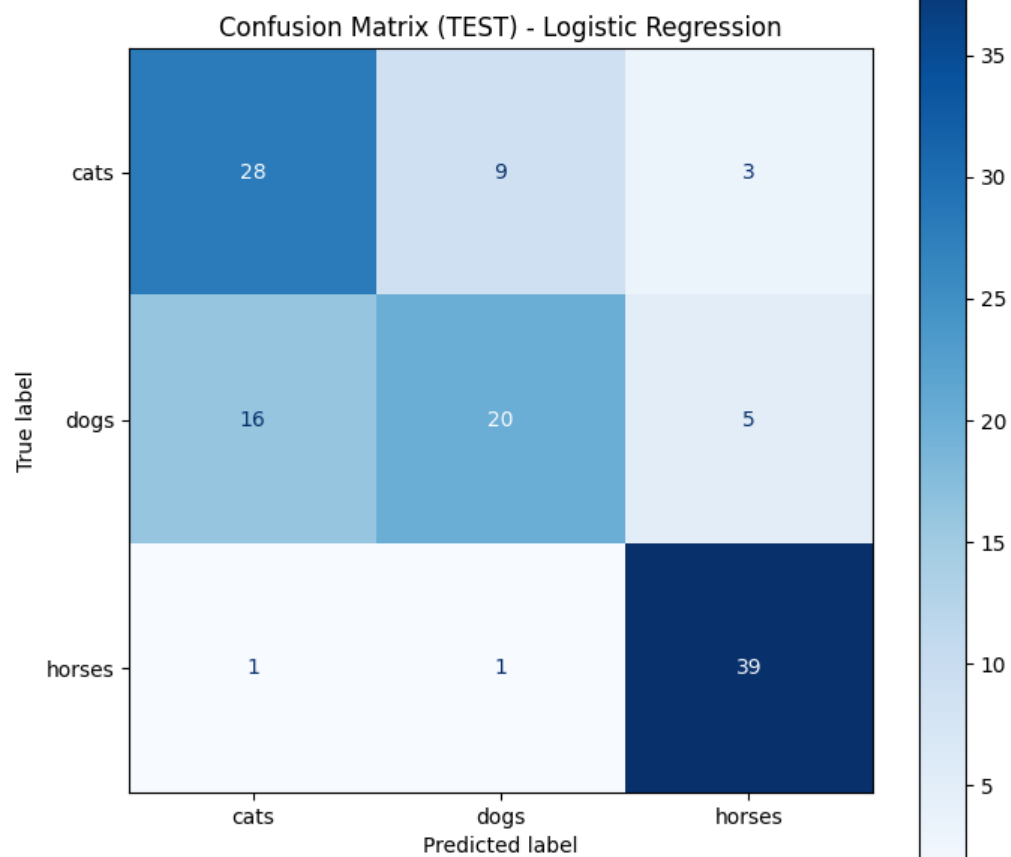
در این سطح، ویژگی‌ها شامل لبه‌ها، الگوهای ابتدایی و اطلاعات بافتی پایه هستند. نتایج نشان دادند که این ویژگی‌ها در تفکیک کلاس‌ها محدودیت دارند. دقت بهترین مدل (Logistic Regression) برابر با 71% روی داده‌های آزمایشی بود. کلاس horses به طور قابل توجهی بهتر از cats و dogs طبقه‌بندی شد که نشان‌دهنده تمایز بیشتر این کلاس در ویژگی‌های سطح پایین است.

Evaluating SVM...					Evaluating Logistic Regression...				
SVM CV folds: 100% ██████████ 5/5 [19:28<00:00, 233.79s/it]					Logistic Regression CV folds: 100% ██████████ 5/5 [02:14<00:00, 26.81s/it]				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
cats	0.57	0.80	0.67	162	cats	0.62	0.71	0.66	162
dogs	0.61	0.43	0.50	161	dogs	0.64	0.54	0.58	161
horses	0.85	0.75	0.80	161	horses	0.79	0.79	0.79	161
accuracy			0.66	484	accuracy			0.68	484
macro avg	0.68	0.66	0.66	484	macro avg	0.68	0.68	0.68	484
weighted avg	0.68	0.66	0.66	484	weighted avg	0.68	0.68	0.68	484
Evaluating KNN...					Evaluating Extra Trees...				
KNN CV folds: 100% ██████████ 5/5 [00:07<00:00, 1.45s/it]					Extra Trees CV folds: 100% ██████████ 5/5 [00:15<00:00, 3.15s/it]				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
cats	0.42	0.86	0.57	162	cats	0.61	0.72	0.66	162
dogs	0.51	0.31	0.39	161	dogs	0.58	0.50	0.53	161
horses	0.89	0.32	0.47	161	horses	0.82	0.80	0.81	161
accuracy			0.50	484	accuracy			0.67	484
macro avg	0.61	0.50	0.47	484	macro avg	0.67	0.67	0.67	484
weighted avg	0.61	0.50	0.47	484	weighted avg	0.67	0.67	0.67	484
Evaluating Random Forest...					Evaluating Gaussian NB...				
Random Forest CV folds: 100% ██████████ 5/5 [00:38<00:00, 7.78s/it]					Gaussian NB CV folds: 100% ██████████ 5/5 [00:05<00:00, 1.08s/it]				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
cats	0.59	0.68	0.63	162	cats	0.61	0.72	0.66	162
dogs	0.57	0.50	0.53	161	dogs	0.55	0.50	0.52	161
horses	0.81	0.79	0.80	161	horses	0.76	0.69	0.72	161
accuracy			0.66	484	accuracy			0.64	484
macro avg	0.66	0.66	0.66	484	macro avg	0.64	0.64	0.63	484
weighted avg	0.66	0.66	0.66	484	weighted avg	0.64	0.64	0.63	484

🏆 Best model based on Accuracy: **Logistic Regression** with Accuracy = 0.6799

🚀 FINAL TEST REPORT for **Logistic Regression**

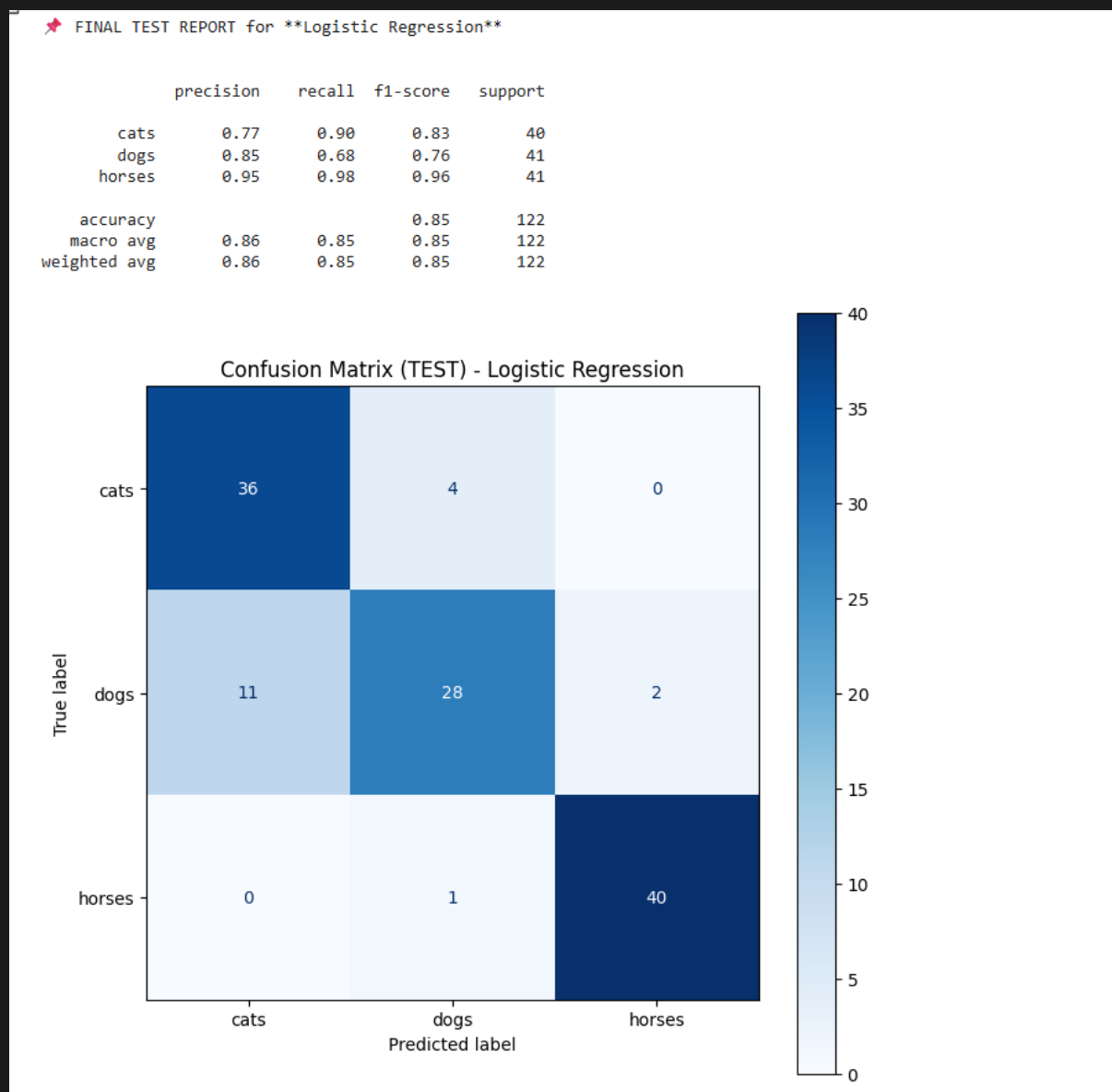
	precision	recall	f1-score	support
cats	0.62	0.70	0.66	40
dogs	0.67	0.49	0.56	41
horses	0.83	0.95	0.89	41
accuracy			0.71	122
macro avg	0.71	0.71	0.70	122
weighted avg	0.71	0.71	0.70	122



۲. ویژگی‌های میانی (Mid-Level Features):

با استفاده از لایه‌های layer1 و layer2، مدل قادر به استخراج ویژگی‌های ترکیبی و ساختاریافته‌تری شد. در این مرحله، دقت مدل Logistic Regression به حدود 85% افزایش یافت و کلاس‌ها به صورت متوازن‌تری طبقه‌بندی شدند. نسبت به مرحله‌ی قبل، کلاس dogs که پیش‌تر عملکرد ضعیفی داشت، بهبود محسوسی در دقت و recall نشان داد. این موضوع حاکی از قدرت بیشتر ویژگی‌های میانی در بازنمایی ساختارهای مفهومی‌تر تصویر است.

Evaluation for: mid-Level Features									
Evaluating SVM...					Evaluating Logistic Regression...				
SVM CV folds: 100% [██████████] 5/5 [10:43<00:00, 128.61s/it]					Logistic Regression CV folds: 100% [██████████] 5/5 [02:14<00:00, 26.81s/it]				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
cats	0.78	0.79	0.74	162	cats	0.62	0.71	0.66	162
dogs	0.66	0.68	0.67	161	dogs	0.64	0.54	0.58	161
horses	0.96	0.80	0.87	161	horses	0.79	0.79	0.79	161
accuracy			0.76	484	accuracy			0.68	484
macro avg	0.77	0.76	0.76	484	macro avg	0.68	0.68	0.68	484
weighted avg	0.77	0.76	0.76	484	weighted avg	0.68	0.68	0.68	484
Evaluating KNN...					Evaluating Extra Trees...				
KNN CV folds: 100% [██████████] 5/5 [00:03<00:00, 1.46it/s]					Extra Trees CV folds: 100% [██████████] 5/5 [00:15<00:00, 3.15s/it]				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
cats	0.53	0.21	0.30	162	cats	0.61	0.72	0.66	162
dogs	0.47	0.42	0.44	161	dogs	0.58	0.50	0.53	161
horses	0.46	0.78	0.58	161	horses	0.82	0.80	0.81	161
accuracy			0.47	484	accuracy			0.67	484
macro avg	0.49	0.47	0.44	484	macro avg	0.67	0.67	0.67	484
weighted avg	0.49	0.47	0.44	484	weighted avg	0.67	0.67	0.67	484
Evaluating Random Forest...					Evaluating Gaussian NB...				
Random Forest CV folds: 100% [██████████] 5/5 [00:20<00:00, 4.14s/it]					Gaussian NB CV folds: 100% [██████████] 5/5 [00:05<00:00, 1.08s/it]				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
cats	0.60	0.67	0.64	162	cats	0.61	0.72	0.66	162
dogs	0.55	0.53	0.54	161	dogs	0.55	0.50	0.52	161
horses	0.87	0.79	0.83	161	horses	0.76	0.69	0.72	161
accuracy			0.67	484	accuracy			0.64	484
macro avg	0.67	0.67	0.67	484	macro avg	0.64	0.64	0.63	484
weighted avg	0.67	0.67	0.67	484	weighted avg	0.64	0.64	0.63	484
					🏆 Best model based on Accuracy: **Logistic Regression** with Accuracy = 0.6799				



۳. ویژگی‌های سطح بالا (High-Level Features):

در این حالت، از تمام شبکه (به جز لایه FC نهایی) برای استخراج ویژگی استفاده شد. این ویژگی‌ها شامل نمایش‌های انتزاعی از مفاهیم بصری مانند "چهره گربه" یا "پیکربندی بدن اسب" هستند. مدل SVM در این مرحله با دقت 100% روی داده‌ی تست بهترین عملکرد را نشان داد. تمامی کلاس‌ها بدون خطا شناسایی شدند. این نتیجه تأییدی بر قدرت بالای نمایش‌های سطح بالا در مدل‌های یادگیری عمیق برای تفکیک دقیق بین کلاس‌ها است.

Evaluation for: High-Level Features

Evaluating SVM...
SVM CV folds: 100% | 5/5 [00:01<00:00, 4.69it/s]

	precision	recall	f1-score	support
cats	0.98	0.96	0.97	162
dogs	0.96	0.98	0.97	161
horses	1.00	1.00	1.00	161
accuracy			0.98	484
macro avg	0.98	0.98	0.98	484
weighted avg	0.98	0.98	0.98	484

Evaluating KNN...
KNN CV folds: 100% | 5/5 [00:00<00:00, 44.63it/s]

	precision	recall	f1-score	support
cats	0.95	0.97	0.96	162
dogs	0.97	0.94	0.96	161
horses	0.99	1.00	1.00	161
accuracy			0.97	484
macro avg	0.97	0.97	0.97	484
weighted avg	0.97	0.97	0.97	484

Evaluating Random Forest...
Random Forest CV folds: 100% | 5/5 [00:05<00:00, 1.17s/it]

	precision	recall	f1-score	support
cats	0.99	0.94	0.97	162
dogs	0.94	0.99	0.96	161
horses	0.99	1.00	1.00	161
accuracy			0.98	484
macro avg	0.98	0.98	0.98	484
weighted avg	0.98	0.98	0.98	484

Evaluating Logistic Regression...
Logistic Regression CV folds: 100% | 5/5 [00:04<00:00, 1.17it/s]

	precision	recall	f1-score	support
cats	0.97	0.96	0.97	162
dogs	0.96	0.98	0.97	161
horses	1.00	1.00	1.00	161
accuracy			0.98	484
macro avg	0.98	0.98	0.98	484
weighted avg	0.98	0.98	0.98	484

Evaluating Extra Trees...
Extra Trees CV folds: 100% | 5/5 [00:02<00:00, 2.21it/s]

	precision	recall	f1-score	support
cats	0.99	0.93	0.96	162
dogs	0.94	0.99	0.96	161
horses	1.00	1.00	1.00	161
accuracy			0.98	484
macro avg	0.98	0.98	0.98	484
weighted avg	0.98	0.98	0.98	484

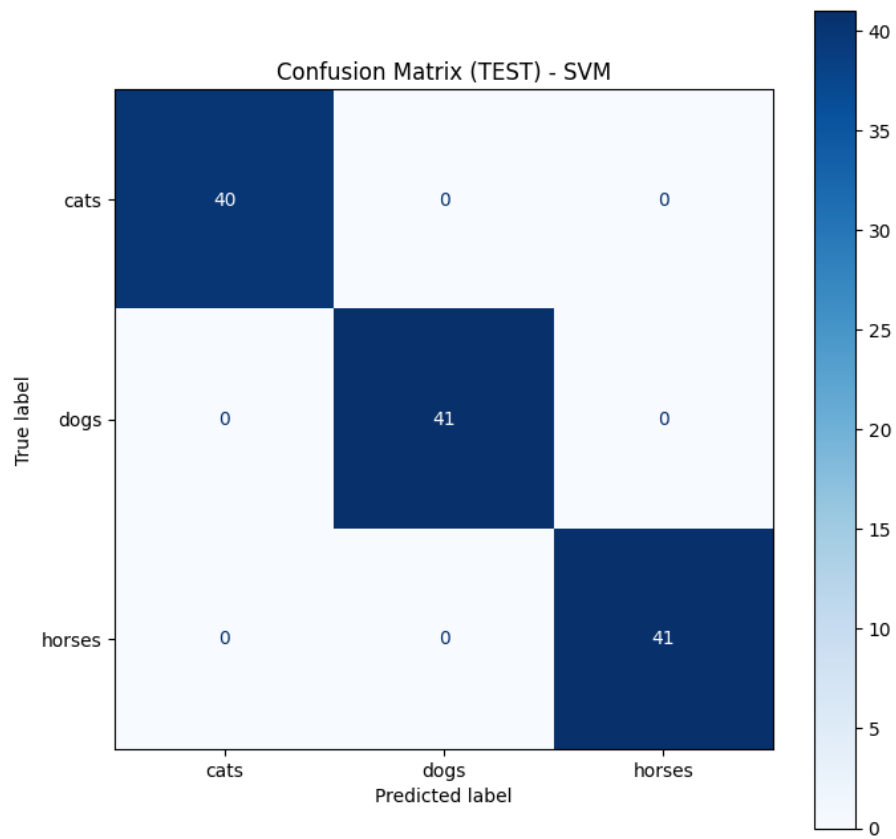
Evaluating Gaussian NB...
Gaussian NB CV folds: 100% | 5/5 [00:00<00:00, 75.96it/s]

	precision	recall	f1-score	support
cats	0.98	0.93	0.96	162
dogs	0.93	0.98	0.96	161
horses	1.00	1.00	1.00	161
accuracy			0.97	484
macro avg	0.97	0.97	0.97	484
weighted avg	0.97	0.97	0.97	484

🏆 Best model based on Accuracy: **SVM** with Accuracy = 0.9793

FINAL TEST REPORT for **SVM**

	precision	recall	f1-score	support
cats	1.00	1.00	1.00	40
dogs	1.00	1.00	1.00	41
horses	1.00	1.00	1.00	41
accuracy			1.00	122
macro avg	1.00	1.00	1.00	122
weighted avg	1.00	1.00	1.00	122



جمع‌بندی:

- با افزایش عمق ویژگی‌های استخراج‌شده، دقت و کیفیت طبقه‌بندی نیز به‌طور قابل توجهی افزایش یافت.
- مدل Logistic Regression در دو سطح اول بهترین عملکرد را داشت، در حالی که در سطح سوم، مدل SVM با اختلاف واضحی بهترین بود.
- کلاس horses در تمامی سطوح نسبت به دو کلاس دیگر بهتر طبقه‌بندی شد، که می‌تواند به تفاوت‌های بصری بارزتر این کلاس نسبت داده شود.
- نتایج نشان می‌دهند که حتی بدون fine-tuning شبکه، استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده از ResNet18 می‌تواند عملکرد بالایی در طبقه‌بندی تصاویر داشته باشد.