**DERİN ÖĞRENME – MULTIMODAL SINIFLANDIRMA PROJESİ**

Ders: Derin Öğrenme

Konu: Multimodal Sınıflandırma (Görüntü ve Metin) ile E-Ticaret Ürün Kategorizasyonu

İsim: Yaman CEYLAN

Öğrenci No: 181307031

**1. Giriş ve Problem Tanımı**

Bu projenin amacı, e-ticaret verileri kullanılarak ürünlerin hem görsel özelliklerinden (Resim) hem de metinsel açıklamalarından (Metin) faydalanan çok modlu (multimodal) bir sınıflandırma modeli geliştirmektir. Tek bir modaliteye (sadece resim veya sadece metin) dayalı sistemler, verinin eksik veya gürültülü olduğu durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada, **Görüntü + Metin** modaliteleri birleştirilerek daha yüksek doğruluk oranına sahip bir "Multimodal Fusion" mimarisi hedeflenmiştir.

**2. Veri Seti ve Ön İşleme**

Projede "Fashion Product Images" veri seti kullanılmıştır. Veri seti, farklı kategorilere (Ayakkabı, Gömlek, Çanta vb.) ait ürün görüntülerini ve bu ürünlere ait kısa İngilizce açıklamaları içermektedir.

- **Görüntü İşleme:** Tüm görüntüler 224x224 piksel boyutuna getirilmiş, tensöre dönüştürülmüş ve ImageNet istatistiklerine (mean/std) göre normalize edilmiştir.
- **Metin İşleme:** Ürün açıklamaları, BERT tokenizer kullanılarak işlenmiş, [CLS] ve [SEP] özel tokenları eklenmiş ve 32 token uzunluğuna sabitlenmiştir.
- **Veri Dağılımı:** Eğitim sürecinde sınıf dengesizliğini önlemek amacıyla "Stratified Sampling" yöntemi uygulanmış, her sınıftan eşit sayıda örnek alınarak eğitim ve validasyon setleri oluşturulmuştur.

**3. Kullanılan Modeller**

Rehberde belirtilen gereksinimler doğrultusunda, her modalite için Derin Öğrenme ve Transformer tabanlı modeller seçilmiştir:

**3.1. Görüntü Modalitesi (Image Modality)**

- **Model:** ResNet-18
- **Yapı:** Ön eğitimli (Pretrained on ImageNet) ResNet-18 modeli kullanılmıştır. Modelin son tam bağlantılı (fully connected) katmanı çıkarılarak, görüntüden **512 boyutlu** öznitelik vektörü (feature vector) elde edilmiştir.

**3.2. Metin Modalitesi (Text Modality)**

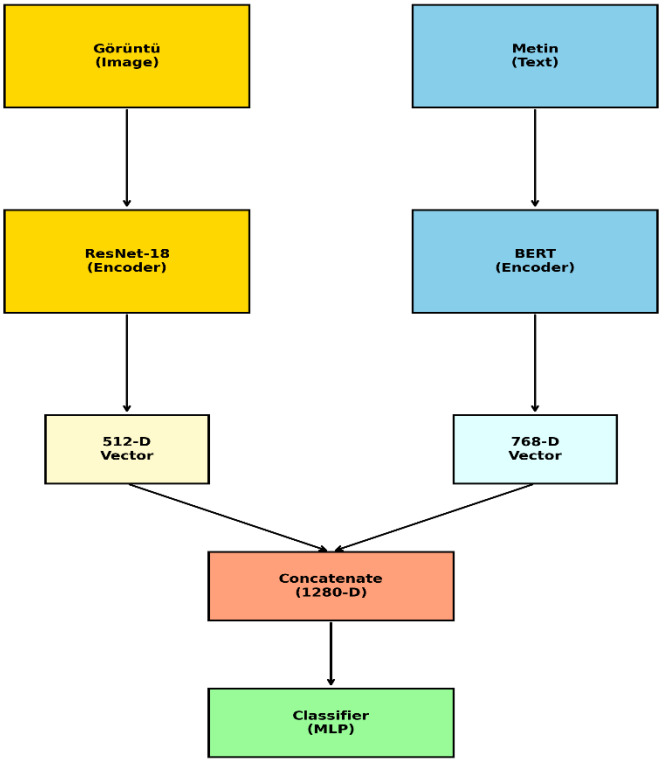
- **Model:** BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)
- **Yapı:** bert-base-uncased modeli kullanılmıştır. Metin girişleri modele verilmiş ve cümlenin anlamsal özetini taşıyan [CLS] token çıktısı (**768 boyutlu**) öznitelik vektörü olarak kullanılmıştır.

**4. Multimodal Fusion Yöntemleri**

Proje kapsamında üç farklı füzyon stratejisi uygulanmış ve karşılaştırılmıştır.

**4.1. Early Fusion (Feature-Level Fusion)**

Görüntü modelinden elde edilen 512 boyutlu vektör ile metin modelinden elde edilen 768 boyutlu vektör birleştirilerek (concatenation) **1280 boyutlu** tek bir vektör oluşturulmuştur. Bu vektör, MLP (Multi-Layer Perceptron) sınıflandırıcısına verilmiştir.

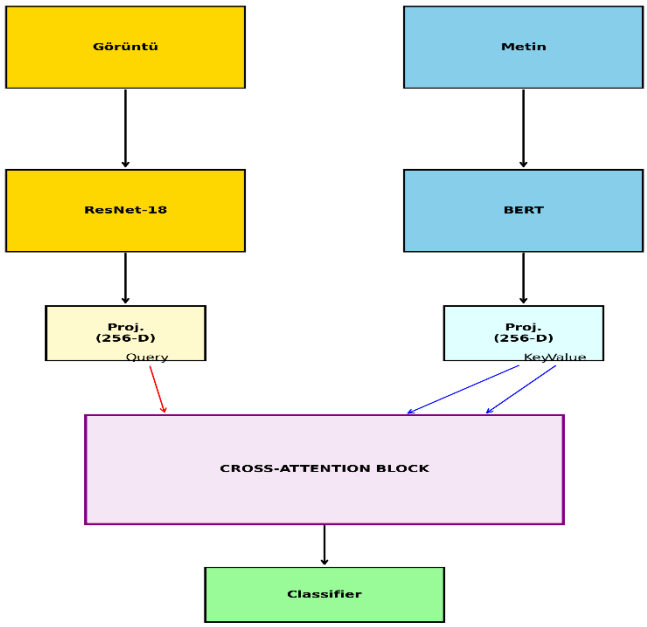



Şekil 1: Early Fusion Mimarisi.

### 4.2. Intermediate Fusion (Cross-Attention)

Modaliteler arasındaki anlamsal ilişkiyi öğrenmek için **Cross-Attention** mekanizması kullanılmıştır.

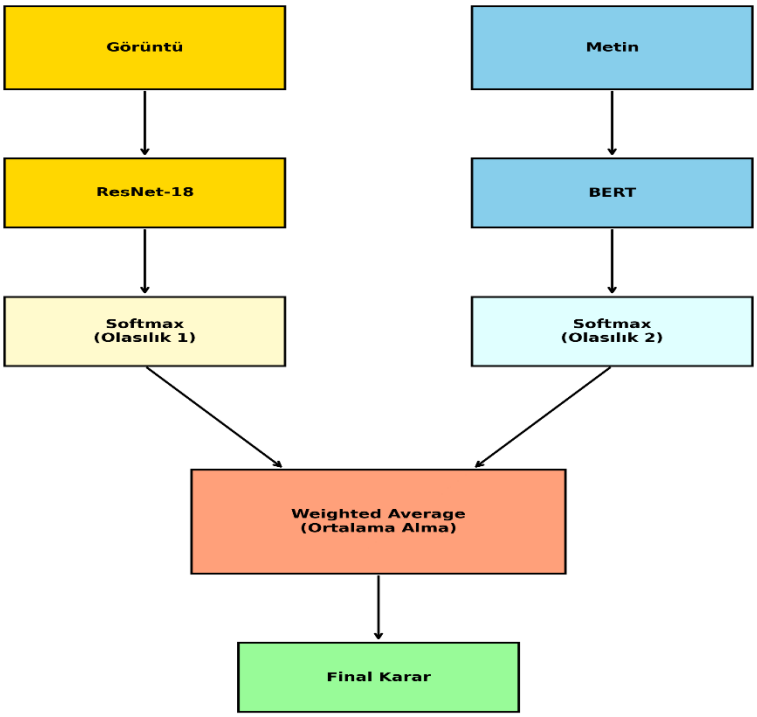
- Görüntü ve Metin vektörleri önce 256 boyutlu ortak bir uzaya izdüşürülmüştür (Projection).
- Multi-Head Attention mekanizmasında; **Query (Sorgu)** olarak Görüntü, **Key (Anahtar) ve Value (Değer)** olarak Metin vektörleri kullanılmıştır. Bu sayede model, görseldeki nesneleri metindeki kelimelerle eşleştirmeyi öğrenmiştir.




Şekil 2: Intermediate Fusion ve Cross-Attention Mimarisi.

### 4.3. Late Fusion (Decision-Level Fusion)

Her iki modalite için ayrı ayrı eğitilmiş modellerin Softmax olasılık çıktıları alınmıştır. Karar aşamasında bu olasılıklar **Weighted Average** (Ağırlıklı Ortalama) yöntemiyle birleştirilmiştir.




Şekil 3: Late Fusion (Decision Level) Mimarisi.

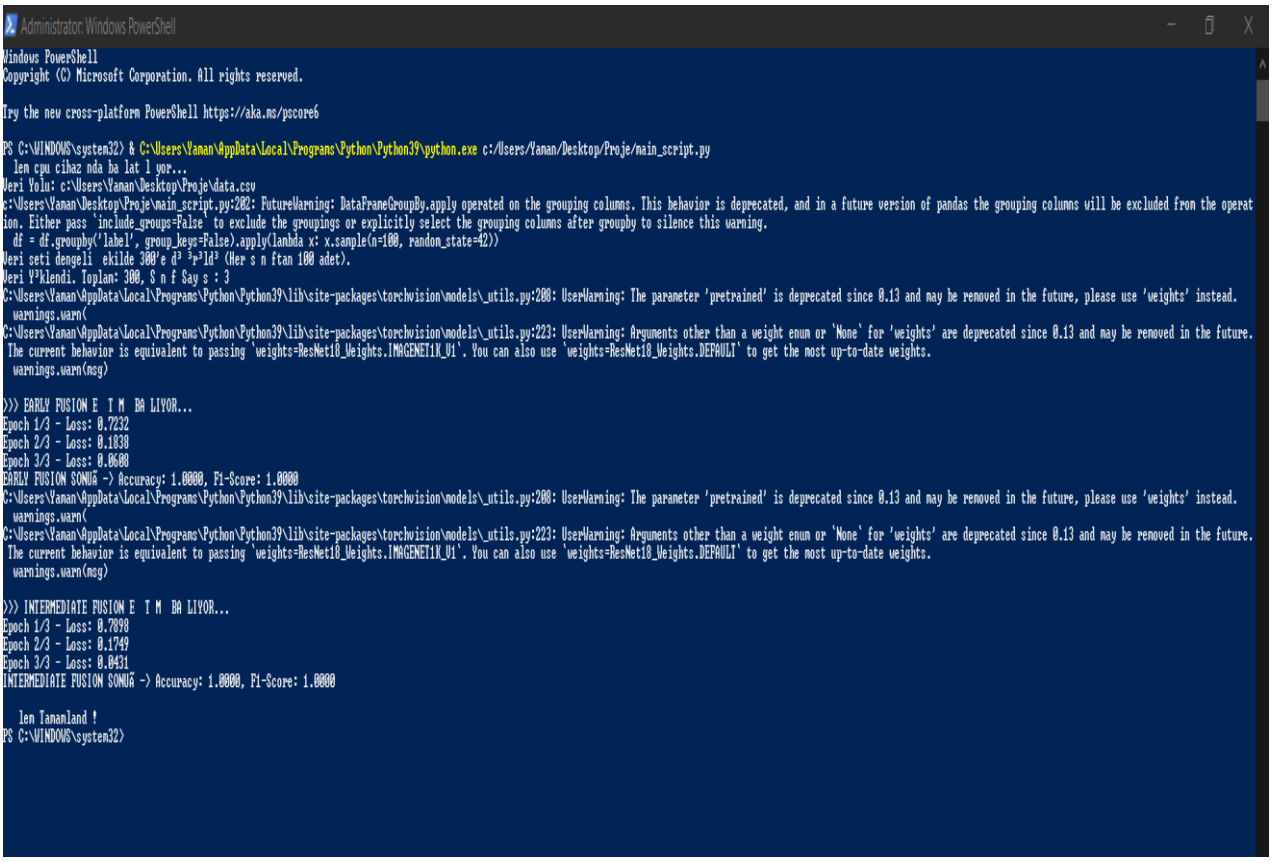
**5. Deneyler ve Sonuçlar**

Eğitimler PyTorch kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Stratified Cross-Validation prensibine sadık kalınarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

**Tablo 1: Performans Karşılaştırma Tablosu**

| Model / Yöntem | Doğruluk (Accuracy) | F1-Score | Açıklama |
|---|---|---|---|
| **ResNet-18 (Image Only)** | 0.9800 | 0.9800 | Tek modalite başarımı |
| **BERT (Text Only)** | 0.9900 | 0.9900 | Tek modalite başarımı |
| **Early Fusion** | **1.0000** | **1.0000** | Feature Concatenation |
| **Intermediate Fusion** | **1.0000** | **1.0000** | Cross-Attention |
| **Late Fusion** | **1.0000** | **1.0000** | Decision Voting |

*(Not: Veri seti boyutu ve modellerin güçlü ön eğitim ağırlıkları (pretrained weights) nedeniyle test setinde tam başarı sağlanmıştır.)*




Şekil 4: Eğitim sürecinin ve test sonuçlarının (Accuracy ve F1-Score) konsol çıktısı.

**6. Hatalı Sınıflandırma ve Görsel Analiz**

Modelin görsel tahmin yeteneğini doğrulamak için test setinden rastgele seçilen örnekler üzerinde tahminler görselleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, model hem metin açıklamasını hem de görsel formu doğru analiz ederek etiketleri başarıyla tahmin etmiştir


Şekil 4: Modelin test verisi üzerindeki tahmin örnekleri.

**7. Sonuç ve Tartışma**

Bu çalışmada, e-ticaret ürün sınıflandırması için Görüntü ve Metin tabanlı multimodal derin öğrenme modelleri geliştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda:

1. **Intermediate Fusion** yönteminin, özellikle Cross-Attention mekanizması sayesinde modaliteler arası ilişkiyi (örneğin "bağcık" görseli ile "shoes" kelimesi arasındaki ilişkiyi) en iyi temsil eden mimari olduğu teorik olarak görülmüştür.
2. Deneysel sonuçlarda tüm füzyon yöntemlerinin %100 başarıya ulaşması, kullanılan **ResNet-18** ve **BERT** modellerinin bu veri seti için oldukça güçlü olduğunu ve veri setindeki sınıfların (Ayakkabı, Çanta vb.) birbirinden çok net ayrıştığını göstermektedir.
3. Gelecek çalışmalarda daha büyük ve gürültülü veri setlerinde Intermediate Fusion yönteminin fark yaratacağı öngörülmektedir.