# hp Engine: Otonom Futbol Video Analiz Sistemi İçin Stratejik ve Teknik Yol Haritası

## Yönetici Özeti

Bu kapsamlı araştırma raporu, **hp Engine** kurucusu Sayın Hikmet Pınarbaş'ın talebi üzerine, Python tabanlı bir futbol video analiz sistemi geliştirmenin teknik, stratejik ve operasyonel gerekliliklerini detaylandırmak amacıyla hazırlanmıştır. Rapor, **Bilgisayarlı Görü (Computer Vision)** ve **Makine Öğrenimi (Machine Learning)** teknolojilerinin futbol endüstrisindeki devrimsel etkisini merkeze alarak, sıfırdan profesyonel bir analiz motoru inşa etmenin yol haritasını sunmaktadır.

Futbol dünyası, insan gözüne dayalı sübjektif analizlerden, veriye dayalı objektif karar alma mekanizmalarına doğru radikal bir dönüşüm geçirmektedir. Bu dönüşümde, video görüntülerini işlenebilir veri setlerine dönüştüren algoritmalar, kulüplerin ve federasyonların en değerli varlıkları haline gelmiştir. Raporumuzda, **YOLO (You Only Look Once)** mimarisi, **ByteTrack** izleme algoritmaları ve **Homografi (Perspektif Dönüşümü)** teknikleri gibi son teknoloji araçların, sahadaki ham görüntüleri nasıl milimetrik oyuncu verilerine dönüştürdüğü derinlemesine incelenmiştir. Ayrıca, FIFA’nın EPTS (Elektronik Performans ve Takip Sistemleri) standartları ve SoccerNet gibi akademik kıyaslama (benchmark) setleri ışığında, küresel standartlarda bir sistemin nasıl kurgulanması gerektiği açıklanmıştır.

Rapor, sadece teknik bir kılavuz olmanın ötesinde, **Brentford FC** ve **Sevilla FC** gibi veri odaklı kulüplerin başarı hikayelerinden yola çıkarak, geliştirilecek sistemin pazar değerini ve kullanım senaryolarını da analiz etmektedir. **hp Engine** ekibinin bu alandaki yetkinliğini artırmak için önerilen pedagojik eğitim süreçleri ve Python ekosistemindeki en iyi uygulama örnekleri (Best Practices) de raporun ayrılmaz bir parçasıdır.

## 1. Stratejik Bağlam: Futbol Analitiğinde Paradigma Değişimi

Bir yazılım projesine başlamadan önce, o projenin içinde var olacağı ekosistemi ve pazar dinamiklerini anlamak hayati önem taşır. Futbol analitiği, son on yılda "gözlemcilik" (scouting) kavramından "veri bilimi" (data science) kavramına evrilmiştir. Bu evrim, **hp Engine** gibi girişimler için büyük bir fırsat penceresi sunmaktadır.

### 1.1 Sübjektif Gözlemden Objektif Veriye Geçiş

Geleneksel futbol yönetiminde kararlar, teknik direktörlerin ve izleme komitelerinin (scout) hafızasına, sezgilerine ve sınırlı sayıdaki maç izleme kapasitelerine dayanırdı. Ancak insan beyni, "yakınlık sapması" (recency bias) veya "sonuç odaklılık" gibi bilişsel yanılgılara açıktır. Örneğin, bir oyuncunun sadece attığı gole odaklanıp, maç boyunca yaptığı 50 hatalı koşuyu göz ardı etmek, geleneksel analizin en büyük tuzağıdır.

Bugün gelinen noktada, modern futbol "Moneyball" felsefesini benimsemiştir. Bu yaklaşım, veriyi kullanarak piyasa değeri düşük ancak performansı yüksek oyuncuları tespit etmeyi amaçlar. **Brentford FC** ve **FC Midtjylland** örnekleri, bu yaklaşımın en somut kanıtlarıdır. Brentford'un sahibi Matthew Benham, kulübü bir matematiksel model üzerine kurmuş, oyuncu transferlerini ve taktiksel kararları tamamen veri odaklı hale getirmiştir.1 Benham'ın modeli, insan gözünün kaçırabileceği desenleri yakalayarak, kulübü İngiltere Premier Ligi'ne kadar taşımıştır. Bu sistemlerin temel yakıtı ise veridir.

Veri iki ana kategoride toplanır:

1. **Olay Verisi (Event Data):** Pas, şut, faul gibi kesikli olayların kaydı. (Opta, StatsBomb gibi firmalar tarafından sağlanır).
2. **Takip Verisi (Tracking Data):** Sahadaki 22 oyuncunun, hakemlerin ve topun saniyede 25 kez (25fps) kaydedilen (x, y) koordinatları.

**hp Engine**'in odaklandığı alan, işte bu "Takip Verisi"ni üretmektir. Geleneksel olarak bu veriler, stadyumlara kurulan milyon dolarlık optik kamera sistemleri (TRACAB, ChyronHego) ile toplanırken, Bilgisayarlı Görü teknolojisindeki gelişmeler artık bu verilerin standart yayın görüntülerinden (Broadcast Video) elde edilmesini mümkün kılmaktadır.3 Bu, teknolojinin demokratikleşmesi anlamına gelir ve **hp Engine** için hedef pazarın sadece elit kulüpler değil, tüm futbol piramidi olduğunu gösterir.

### 1.2 Monchi Metodu ve Gözlemcilikte Verimlilik

Dünyanın en başarılı sportif direktörlerinden biri olan Sevilla FC'li **Monchi**, "Veriye sırtını dönenler geride kalacak" diyerek modern çağın manifestosunu yazmıştır.5 Monchi'nin sistemi, binlerce oyuncuyu önce verilerle filtreleyip, insan gözlemcilerin önüne sadece en uygun adayları (örneğin 18.000 oyuncudan 20 adaya indirmek) çıkarmak üzerine kuruludur.6

Otomatik video analiz sistemleri, bu huninin (funnel) en başında yer alır. İnsan gücüyle binlerce saatlik amatör lig maçını izlemek imkansızdır. Ancak Python tabanlı bir video analiz motoru, 7/24 çalışarak binlerce maçı tarayabilir, oyuncuların koşu mesafelerini, hızlanma profillerini ve taktiksel sadakatlerini ölçebilir. **hp Engine**, bu bağlamda bir "dijital scout" görevi görerek, kulüplere zaman ve maliyet avantajı sağlayan bir altyapı sunma potansiyeline sahiptir.

### 1.3 FIFA Kalite Programı ve Standartlar

Bu alanda geliştirilecek herhangi bir sistemin ciddiye alınması için uluslararası standartlara uyum sağlaması şarttır. FIFA, **EPTS (Elektronik Performans ve Takip Sistemleri)** için çok katı bir kalite programı yürütmektedir.7

* **Güvenlik Testleri:** Giyilebilir teknolojiler için darbe testleri.
* **Performans Testleri:** Optik sistemler için doğruluk testleri.

Bir optik takip sistemi (hp Engine gibi), FIFA tarafından onaylanmış "Altın Standart" olan **VICON** hareket yakalama (motion capture) sistemi ile kıyaslanır. Geliştirilen yazılımın, oyuncu konumunu ne kadar hassas ölçtüğü (RMSE - Root Mean Square Error), hız verisindeki sapma payı ve top takibindeki başarısı matematiksel olarak kanıtlanmalıdır. Sadece "görsel olarak doğru görünen" bir sistem, profesyonel futbolda, özellikle de sakatlık riski analizi ve yük yönetimi gibi kritik alanlarda kullanılamaz.9 Bu nedenle Ar-Ge sürecinin en başından itibaren doğrulama (validation) metriklerine odaklanmak gerekir.

## 2. Teknik Mimari: Bilgisayarlı Görü Boru Hattı (Pipeline)

Bir futbol maçının video dosyasını alıp, onu anlamlı verilere dönüştüren sistem, birbiri ardına çalışan modüllerden oluşan bir "boru hattı" (pipeline) olarak tasarlanmalıdır. Bu bölümde, Python ekosisteminde bu hattın nasıl kurulacağını adım adım inceleyeceğiz.

### 2.1 Aşama 1: Veri Girişi ve Ön İşleme (Ingestion)

Sistemin girdisi videodur, ancak her video analiz için uygun değildir. Videonun kaynağı, algoritmaların başarısını doğrudan etkiler.

* **Yayın Görüntüsü (Broadcast Feed):** Televizyonda izlediğimiz standart yayın. Sürekli değişen kamera açıları, yakın çekimler (zoom), tekrarlar (replay) ve reklam panoları içerir. İşlenmesi en zor olan veridir çünkü kamera sabit değildir.
* **Taktik Kamera (Tactical Feed):** Genellikle stadyumun en tepesinden çekilen, tüm sahayı gören ve sabit duran geniş açılı görüntüdür. Analiz için en ideal veridir (Altın standart).11
* **Çözünürlük ve Kare Hızı (FPS):** Nesne tespiti için çözünürlük (1080p, 4K) kritiktir. Küçük nesnelerin (top) piksellerde kaybolmaması gerekir. Hız hesaplamaları için ise kare hızı (FPS) önemlidir. 25 FPS'lik bir yayında, oyuncunun iki kare arasındaki hareketi, 60 FPS'e göre daha büyük sıçramalar içerir, bu da takibi zorlaştırabilir.

**Python Uygulaması:** OpenCV kütüphanesi (cv2.VideoCapture), video okuma işleminin standardıdır. Ancak büyük dosyaları belleğe (RAM) yormadan işlemek için "Frame Generator" (Kare Üretici) yapısı kullanılmalıdır. Bu yapı, videoyu kare kare okur, işler ve bellekten atar.12

### 2.2 Aşama 2: Nesne Tespiti (Gözler) - YOLO Mimarisi

Sistemin "gözleri" olan bu aşamada, her bir video karesindeki nesnelerin (oyuncu, top, hakem) yerini tespit ederiz. **hp Engine** için endüstri standardı haline gelen **YOLO (You Only Look Once)** mimarisini, özellikle de **YOLOv8** veya en yeni **YOLOv11** sürümünü öneriyoruz.

#### Neden YOLO?

Eski nesil yöntemler (R-CNN gibi), bir resimde nesne bulmak için resmi defalarca tarardı ve bu da sistemi yavaşlatırdı. YOLO ise isminden de anlaşılacağı üzere ("Sadece Bir Kez Bak"), tüm resme tek seferde bakar. Resmi ızgaralara (grid) böler ve her ızgara hücresi için "Burada bir nesne var mı?" sorusunu paralel olarak yanıtlar. Bu hız, 90 dakikalık (yaklaşık 135.000 kare) bir maçı makul bir sürede işlemek için zorunludur.14

#### Tespit Edilecek Sınıflar (Classes)

Model, aşağıdaki sınıfları ayırt edecek şekilde eğitilmelidir:

1. **Oyuncular:** Takım ayrımı yapılmaksızın tüm futbolcular.
2. **Hakemler:** Oyundan bağımsız oldukları için ayrı bir sınıf olmalıdır.
3. **Top:** En zorlu sınıf.
4. **Kaleciler:** Genellikle farklı forma giydikleri için ayrı bir sınıf olarak eğitilebilirler.15

#### Zorluk: Küçük Nesne Tespiti (Top)

Bir futbol topu, geniş açılı bir kamera görüntüsünde bazen sadece 5x5 piksellik bir alan kaplar. Standart modeller bu kadar küçük nesneleri "gürültü" sanıp göz ardı edebilir.

* **Çözüm: Döşeme (Tiling/Slicing):** 4K çözünürlüğündeki bir kareyi, örneğin 4 adet 1080p parçaya bölerek modele vermek. Bu sayede top, modelin gözüne daha büyük görünür. **SAHI (Slicing Aided Hyper Inference)** kütüphanesi bu işlem için Python'da sıklıkla kullanılır.16
* **Çözüm: FPN (Feature Pyramid Networks):** Modelin farklı ölçeklerdeki özellik haritalarını kullanmasını sağlayarak hem yakındaki (büyük) hem uzaktaki (küçük) nesneleri yakalamasını sağlar.16

#### Zorluk: Örtüşme (Occlusion)

Köşe vuruşlarında veya baraj kurma anlarında oyuncular birbirinin önünde durur. Eğer model, sadece "tamamı görünen" oyuncuları öğrenirse, bir oyuncunun yarısı göründüğünde onu tespit edemez.

* **Eğitim Stratejisi:** Veri setini etiketlerken, oyuncu kısmen görünse bile, oyuncunun vücudunun tahmini sınırlarını da içeren etiketleme yapılmalıdır. Bu, modele "gördüğün parça bir bütüne aittir" mantığını öğretir.17

### 2.3 Aşama 3: Nesne Takibi (Hafıza) - ByteTrack

Tespit (Detection), anlıktır; hafızası yoktur. 10. karede gördüğü oyuncunun, 11. karedeki aynı oyuncu olduğunu bilmez. Takip (Tracking) algoritması bu bağlantıyı kurar.

#### Önerilen Algoritma: ByteTrack

Futbol gibi hızlı ve kaotik sporlarda, **ByteTrack** algoritması, önceki nesil SORT veya DeepSORT algoritmalarından daha üstün performans göstermektedir.

* **Çalışma Mantığı:** Çoğu takip algoritması, düşük güven skoruna sahip (bulanık, kısmen görünmeyen) tespitleri "çöp" olarak atar. Ancak futbolda hızlı koşan bir oyuncu hareket bulanıklığı (motion blur) nedeniyle düşük skor alabilir. ByteTrack, bu düşük skorlu kutuları atmak yerine, onları "ikinci şans" havuzunda tutar ve mevcut oyuncu yörüngeleriyle eşleştirmeye çalışır. Bu sayede, oyuncu kısa süreliğine bulanıklaşsa bile takip kopmaz (ID Switching azalır).12

#### Yeniden Tanımlama (Re-Identification / ReID)

Bir oyuncu kamera açısından çıkıp (örneğin kamera sağa döner) 10 saniye sonra tekrar kadraja girerse, basit bir takipçi ona yeni bir ID verir (Oyuncu #5 iken Oyuncu #24 olur). Bunu çözmek için **ReID** ağları kullanılır.

* **Görsel Parmak İzi:** Oyuncunun forması, saç rengi, krampon rengi gibi özelliklerinden bir "vektör" (embedding) oluşturulur.
* **Eşleştirme:** "Yeni" bir oyuncu sahneye girdiğinde, sistem bu oyuncunun vektörünü, daha önce kaybolan oyuncuların vektörleriyle karşılaştırır. Eşleşme varsa eski ID geri yüklenir. **SoccerNet ReID** veri seti, bu tür modelleri eğitmek için özel olarak tasarlanmış binlerce örnek sunar.20

### 2.4 Aşama 4: Takım Sınıflandırma (Clustering)

Oyuncuları tespit ettik, peki hangisi hangi takımdan? Bunu insan eliyle girmek yerine otomatize etmeliyiz.

* **Yöntem: K-Means Kümeleme (Clustering).**
* **Süreç:**
  1. Tespit edilen oyuncunun görüntüsü kırpılır (crop).
  2. Arka plandaki çim rengi (yeşil) maskelenerek atılır.
  3. Geriye kalan formanın renk histogramı çıkarılır.
  4. Renk uzayı olarak RGB yerine **HSV** veya **Lab** kullanılması, ışık değişimlerinden (gölge/güneş) daha az etkilenilmesini sağlar.
  5. Elde edilen renk verileri K-Means algoritmasına verilir ve algoritmadan verileri 2 ana kümeye (Takım A, Takım B) ve 1 aykırı kümeye (Hakem/Kaleci) ayırması istenir.21

### 2.5 Aşama 5: Perspektif Dönüşümü ve Homografi (Minimap)

Bu aşama, video piksellerini gerçek dünya metriklerine (metre) dönüştürdüğümüz, işin "mühendislik" kısmıdır.

#### Sorun: Perspektif Bozulması

Kamera açısı nedeniyle, sahanın bize yakın olan kısmındaki 10 metre ile uzak kısmındaki 10 metre, ekranda farklı sayıda piksel kaplar. Bu yüzden pikselleri sayarak hız veya mesafe ölçemeyiz.

#### Çözüm: Homografi Matrisi

Video düzlemi (2D) ile saha düzlemi (2D Kuş Bakışı) arasında matematiksel bir dönüşüm matrisi (Homography Matrix) hesaplanır.

* **Anahtar Nokta Tespiti (Keypoint Detection):** Sahadaki belirli noktalar (köşe gönderi, ceza sahası köşesi, orta yuvarlak kesişimi) referans alınır. Standart bir futbol sahasının ölçüleri (FIFA: 105m x 68m) bellidir.
* **Dönüşüm:** Videoda tespit edilen en az 4 noktanın piksel koordinatları ile bu noktaların gerçek sahadaki metre karşılıkları eşleştirilerek matris çözülür.
* **Sonuç:** Artık videodaki her oyuncunun ayak bastığı nokta, sahadaki (x, y) metre koordinatına dönüştürülebilir. Bu veri ile 2D taktik tahtası (radar/minimap) oluşturulur.14

## 3. Matematiksel Çerçeve ve Fizik Modellemesi

Sadece görüntü işlemek yetmez; elde edilen verinin fizik kurallarına uygun olması gerekir.

### 3.1 Veri Yumuşatma (Smoothing) ve Hata Ayıklama

Bilgisayarlı görü algoritmaları "titrek" (jittery) sonuçlar üretir. Oyuncu sabit dursa bile, tespit kutusu her karede 1-2 piksel oynayabilir. Bu küçük oynamalar, hız hesaplanırken "oyuncu sürekli titriyor ve enerji harcıyor" gibi yanlış sonuçlara yol açar.

* **Kalman Filtresi:** Oyuncunun bir sonraki konumunu tahmin eden ve ölçümdeki gürültüyü (noise) filtreleyen istatistiksel bir yöntemdir.
* **Savitzky-Golay Filtresi:** Veri setinin tamamı (veya bir penceresi) elinizdeyse, bu filtre ile yörüngeyi yumuşatarak daha doğal bir koşu eğrisi elde edersiniz.9

### 3.2 Hız ve İvme Hesaplaması

Hız, konumun zamana göre türevidir. Ancak anlık türev (Frame N - Frame N-1) çok gürültülüdür.

* Yöntem: Hız hesaplarken anlık fark yerine, örneğin 0.5 saniyelik pencereler (rolling window) üzerinden ortalama değişim alınmalıdır.  
    
  $$V = \frac{\Delta Mesafe}{\Delta Zaman}$$
* **FIFA Doğrulama:** FIFA EPTS el kitabına göre, profesyonel bir sistemin hız hatası belirli limitlerin altında olmalıdır. Bu nedenle sisteminizi geliştirirken, bilinen mesafelerdeki koşu testleriyle (örneğin 30 metre sprint) kalibrasyon yapmalısınız.7

### 3.3 Olay Tespiti ve Kloppy Kütüphanesi

Takip verisinin (oyuncu nerede?) yanı sıra, olay verisine (oyuncu ne yaptı?) de ihtiyaç vardır.

* **Kloppy Kütüphanesi:** Python ekosisteminde futbol verisi için standartlaşmayı sağlayan en kritik kütüphanedir. Farklı sağlayıcılardan (Opta, Wyscout, Metrica) gelen veriyi tek bir formatta toplar.
* **Desen Eşleştirme (Pattern Matching):** Kloppy'nin sorgu motoru sayesinde, "Takım A'nın kendi yarı sahasında yaptığı ve şutla sonuçlanan 10 paslık serileri bul" gibi karmaşık sorgular çalıştırılabilir. Bu, taktiksel analiz için paha biçilemez bir özelliktir.24

## 4. Yazılım Ekosistemi ve Geliştirme Yol Haritası

Bir girişimci olarak ekibinizi doğru araçlara yönlendirmeniz, projenin başarısı için kritiktir.

### 4.1 Teknoloji Yığını (Tech Stack)

Aşağıdaki tablo, **hp Engine** için önerilen modern teknoloji yığınını özetlemektedir:

| **Bileşen** | **Önerilen Teknoloji/Kütüphane** | **Kullanım Amacı** |
| --- | --- | --- |
| **Programlama Dili** | **Python 3.10+** | Veri bilimi ve Yapay Zeka için endüstri standardı. |
| **Görüntü İşleme** | **OpenCV (cv2)** | Video okuma, kare manipülasyonu, çizim işlemleri. |
| **Derin Öğrenme** | **PyTorch** | YOLO ve diğer sinir ağlarının eğitimi ve çalıştırılması. Araştırma dostu. |
| **Nesne Tespiti** | **Ultralytics YOLOv8/v11** | Hazır modeller, kolay eğitim arayüzü, yüksek performans. |
| **Veri İşleme** | **Pandas & Polars** | Büyük veri setlerinin (milyonlarca satır tracking data) işlenmesi. Polars daha hızlıdır. |
| **Matematik** | **NumPy & SciPy** | Vektör işlemleri, matris çarpımları, optimizasyon. |
| **Futbol Özelleşmiş** | **Kloppy** | Veri standardizasyonu, yükleme ve dışa aktarma (Sportscode XML). |
| **Görselleştirme** | **Matplotlib & Mplsoccer** | Saha çizimi, ısı haritaları (heatmaps), pas ağları. |
| **Arayüz (UI)** | **Streamlit** | Hızlı prototipleme ve web tabanlı analiz paneli oluşturma. |

### 4.2 Proje Klasör Yapısı (Best Practices)

Karmaşayı önlemek ve ölçeklenebilir bir kod tabanı için aşağıdaki yapı önerilir 26:

hp\_engine\_project/  
│  
├── data/ # Verilerin saklandığı yer  
│ ├── raw/ # Ham videolar  
│ ├── processed/ # İşlenmiş/etiketlenmiş veriler  
│ └── external/ # SoccerNet gibi dış veri setleri  
│  
├── models/ # Eğitilmiş model dosyaları (.pt,.onnx)  
│ ├── yolov8\_players.pt  
│ └── yolov8\_ball.pt  
│  
├── src/ # Kaynak kodlar  
│ ├── \_\_init\_\_.py  
│ ├── detection.py # YOLO çıkarım kodları  
│ ├── tracking.py # ByteTrack entegrasyonu  
│ ├── calibration.py # Homografi ve saha dönüşümü  
│ └── visualization.py # Video üzerine çizim fonksiyonları  
│  
├── notebooks/ # Deneme/Yanılma (Jupyter Notebooks)  
│ ├── 01\_data\_exploration.ipynb  
│ └── 02\_model\_training\_test.ipynb  
│  
├── requirements.txt # Kütüphane bağımlılıkları  
└── README.md # Proje dokümantasyonu

### 4.3 Aşamalı Geliştirme Planı

Yeni başlayan bir ekip için "büyük lokma" yutmak yerine, projeyi yönetilebilir fazlara bölmek en doğrusudur.

#### Faz 1: "Merhaba Futbol" (1-4. Hafta)

* **Hedef:** Statik bir videoda oyuncuları tespit etmek.
* **Aksiyon:** PyTorch ve Ultralytics kurulumu. Hazır (pre-trained) bir YOLO modeli ile bir futbol klibi üzerinde deneme yapılması.
* **Beklenen Sonuç:** Model oyuncuları bulacak ama tribündeki seyircileri de oyuncu sanacak. Topu kaçıracak. Bu aşama, **özel eğitim (custom training)** ihtiyacını kanıtlayacak.

#### Faz 2: Özel Eğitim ve Veri Seti Kürasyonu (5-8. Hafta)

* **Hedef:** Sadece sahadaki unsurları tanıyan bir model.
* **Aksiyon:** **Roboflow** veya **SoccerNet**'ten futbol odaklı veri setleri indirilmesi. Kendi çekimlerinizden küçük bir veri setinin (500 kare) etiketlenmesi. Modelin bu verilerle "Transfer Learning" (Transfer Öğrenme) yöntemiyle eğitilmesi.
* **İpucu:** Norveç ligi örneğinde olduğu gibi, sınıf dengesizliğine (az top, çok oyuncu) dikkat edilmeli.15

#### Faz 3: Takip ve Haritalama (9-16. Hafta)

* **Hedef:** Oyunculara kimlik (ID) kazandırmak ve sahaya yerleştirmek.
* **Aksiyon:** ByteTrack entegrasyonu. Homografi matrisi için manuel nokta seçimi (videonun başında 4 köşe seçtirilmesi).
* **Çıktı:** Oyuncuların kuş bakışı (2D) hareketlerini gösteren bir animasyon.

#### Faz 4: Analiz ve Ürünleşme (17. Hafta ve sonrası)

* **Hedef:** Son kullanıcıya (antrenör/scout) değer sunmak.
* **Aksiyon:** Isı haritaları, toplam koşu mesafeleri, hız grafikleri. Streamlit ile web arayüzü. Kloppy ile verilerin Hudl Sportscode formatında dışa aktarılması (Profesyonel kulüpler için kritik özellik).24

## 5. İş Modeli ve Pazar Stratejisi: Neden hp Engine?

Teknik altyapı kadar, bu sistemin ticari değeri de önemlidir.

### 5.1 "Moneyball" Etkisi ve Yatırımın Geri Dönüşü (ROI)

Bir futbol kulübü için **hp Engine** gibi bir sisteme yatırım yapmanın geri dönüşü (ROI) çok yüksektir. Brentford FC örneğinde gördüğümüz gibi, veriye dayalı transfer stratejisi ile ucuza alınan oyuncuların (Ollie Watkins, Neal Maupay gibi) yüksek bedelle satılması, kulübe on milyonlarca sterlin kazandırmıştır. **hp Engine**, veri sağlayıcısının olmadığı alt liglerdeki veya gözden kaçan pazarlardaki oyuncuların verisini üreterek, kulüplerin "gizli hazineleri" bulmasını sağlar.1

### 5.2 Eğitimsel ve Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI)

Hikmet Bey, bu alanda yeni olduğunuzu belirttiniz. Bu aslında bir avantaj olabilir. Sektördeki mevcut sistemler genellikle "Kara Kutu" (Black Box) olarak çalışır; sonucu verir ama nedenini açıklamaz. Teknik direktörler (Julian Nagelsmann veya Pep Guardiola gibi yenilikçiler hariç) genellikle karmaşık verilere şüpheyle yaklaşır.

* **Strateji:** **hp Engine**, veriyi sadece sunan değil, "öğreten" bir sistem olmalıdır. Örneğin, bir xG (Gol Beklentisi) değeri sunarken, sistemin görsel olarak *neden* bu değerin yüksek olduğunu (kaleye mesafe, açı, savunma oyuncusu sayısı) vurgulaması, teknik ekiplerin güvenini kazanır. "Açıklanabilir Yapay Zeka" (Explainable AI) prensipleri, ürününüzün benimsenme hızını artıracaktır.29

### 5.3 Genç Oyuncu Gelişimi ve Akademi

FIFA Küresel Futbol Gelişim Direktörü Arsène Wenger, yeteneklerin keşfedilmesinde veri analitiğinin önemini sürekli vurgulamaktadır. Wenger'e göre, potansiyelli oyuncuların erken yaşta tespiti ve doğru yönlendirilmesi için objektif verilere ihtiyaç vardır.30 **hp Engine**, sadece A takım transferleri için değil, akademilerdeki genç oyuncuların gelişimini (örn. geçen seneye göre hızlanma artışı) takip etmek için de kullanılabilir. Bu, kulüpler için uzun vadeli bir değer önerisidir.

## 6. Eğitim ve Kaynaklar: Nasıl Öğrenmelisiniz?

Ekibinizin yetkinliğini artırmak için önerilen pedagojik yol haritası:

1. **Temel Python ve Veri Yapıları:** NumPy ve Pandas kütüphanelerine hakimiyet. Veri manipülasyonu bu işin %80'idir.
2. **Görüntü İşleme Temelleri:** Piksel nedir? Renk uzayı (RGB/HSV) nedir? Bir resim matris olarak nasıl temsil edilir? Bu temeller olmadan YOLO kullanmak ezbercilik olur.32
3. **Makine Öğrenimi Teorisi:** Sinir ağları (CNN) nasıl çalışır? "Loss Function" (Kayıp Fonksiyonu) nedir? "Overfitting" (Aşırı Öğrenme) nasıl önlenir? Stanford Üniversitesi'nin **CS231n** ders notları bu konuda altın kaynaktır.34
4. **Topluluklara Katılım:**
   * **PySport:** Spor analitiği ve Python üzerine odaklanan açık kaynak topluluğu.
   * **SoccerNet Discord:** Akademik ve sektörel uzmanların tartıştığı bir platform.
   * **Roboflow Blog:** Pratik, kod odaklı eğitimler için mükemmel bir kaynaktır.35

## 7. Sonuç ve Kritik Uyarılar

Sayın Hikmet Pınarbaş, **hp Engine** projesi, doğru kurgulandığında küresel ölçekte değer yaratabilecek potansiyele sahiptir. Ancak yolculukta dikkat edilmesi gereken tuzaklar vardır:

1. **Veri Egemenliği:** Sadece hazır modellere güvenmeyin. Kendi veri setinizi (Türk liglerinden, amatör maçlardan görüntüler) oluşturun. Yerel ışık koşulları, stadyum yapıları ve yayın kaliteleri üzerinde eğitilmiş bir model, genel geçer modellerden her zaman daha iyi çalışır.
2. **Doğruluktan Ödün Vermeyin:** Hız verisi üretirken, ham veriyi (noisy data) doğrudan sunmayın. Mutlaka filtreleme (smoothing) kullanın. Yanlış veri, hiç veriden daha kötüdür ve güveni sarsar.
3. **Hukuki Boyut:** Kullanacağınız maç görüntülerinin telif haklarına ve SoccerNet gibi akademik veri setlerinin lisans koşullarına (genellikle ticari olmayan kullanım içindir) dikkat edin. Ticari ürün için kendi lisanslı verilerinizi veya açık lisanslı kaynakları kullanmalısınız.

Bu rapor, teknik mimariden iş modeline kadar uzanan geniş bir spektrumda size rehberlik etmeyi amaçlamıştır. Python ve Yapay Zeka'nın gücüyle, futbolun görünmeyen yüzünü görünür kılmak sizin elinizde.

## 8. Ek: Detaylı Teknik Gereksinimler ve Araştırma Bulguları

Bu bölümde, raporun ana gövdesini destekleyen teknik detaylar, veri seti özellikleri ve spesifik araştırma bulguları yer almaktadır.

### 8.1 Veri Setleri ve Benchmark Görevleri

Sistemin başarısı, üzerinde eğitildiği verinin kalitesine bağlıdır. Futbol özelinde en kapsamlı akademik kaynak **SoccerNet**'tir.

| **Görev (Task)** | **Açıklama** | **hp Engine İçin Önemi** |
| --- | --- | --- |
| **Action Spotting** | Videodaki olayların (gol, kart, korner) tam saniyesini bulma. | Maç özetleri ve olay filtreleme için temel özellik. |
| **Replay Grounding** | Tekrar görüntüsünün (slow motion) maçın hangi anına ait olduğunu bulma. | Veri temizliği için kritiktir; tekrarlar analizden çıkarılmalıdır. |
| **Camera Calibration** | Saha çizgilerini tanıyarak kamera parametrelerini ve Homografiyi çıkarma. | 2D haritalama ve hız ölçümü için zorunlu. |
| **Re-Identification (ReID)** | Farklı kamera açılarında aynı oyuncuyu tanıma. | Kesintisiz takip ve doğru istatistik için gerekli. |
| **Jersey Number Recognition** | Oyuncu forma numarasını okuma. | Oyuncunun kim olduğunu anlamanın en kesin yolu.20 |

### 8.2 Nesne Tespitinde İnce Ayarlar (Fine-Tuning)

YOLO modellerini eğitirken karşılaşılan en büyük sorun **Sınıf Dengesizliği**dir (Class Imbalance). Bir maçta binlerce "oyuncu" görüntüsü varken, çok az "top" görüntüsü vardır.

* **Araştırma Bulgusu:** Norveç Eliteserien ligi üzerinde yapılan bir çalışmada, top ve penaltı noktası gibi küçük nesnelerin tespitinde zorluklar yaşanmıştır.
* **Çözüm:** Eğitim sırasında "Mosaic Augmentation" (Mozaik Veri Çoğaltma) kullanmak, yani 4 farklı resmi birleştirip tek resim gibi modele vermek, modelin küçük nesneleri ve karmaşık sahneleri öğrenmesini hızlandırır.15

### 8.3 FIFA EPTS Test Protokolleri

Sisteminizi test ederken FIFA'nın kullandığı metrikleri içselleştirmelisiniz.

* **Hız Bantları:** Oyuncunun 0-7 km/s (yürüme), 15-20 km/s (koşu), 25+ km/s (sprint) hızlarında ne kadar süre kaldığını ölçün.
* **Konum Hatası:** Profesyonel sistemlerde kabul edilebilir ortalama konum hatası genellikle 1 metrenin altındadır.
* **Test Yöntemi:** Sisteminizi, bilinen bir parkurda koşan ve GPS yeleği giyen bir oyuncu üzerinde test ederek kendi doğruluk raporunuzu (Validation Report) oluşturun.7

### 8.4 Python Kütüphane Detayları

* **Kloppy:** Sadece veri yüklemek için değil, veriyi dönüştürmek için de kullanılır. Örneğin, videodaki koordinat sistemini (0-1920 piksel), StatsBomb koordinat sistemine (0-100 birim) veya TRACAB sistemine (cm cinsinden) dönüştürebilir. Bu, verinizin endüstrideki diğer araçlarla konuşabilmesini sağlar.24
* **Databallpy:** Eğer elinizde hem optik takip verisi hem de bir şirketten alınmış olay verisi (event data) varsa, bu ikisinin zaman senkronizasyonu (zaman damgalarının eşleşmesi) çok zordur. Databallpy bu senkronizasyonu otomatize eder.39

Bu teknik detaylar, **hp Engine**'in sadece çalışan bir prototip değil, endüstriyel standartlara sahip bir ürün olma yolundaki mühendislik temelini oluşturur.

#### Alıntılanan çalışmalar

1. “What Can Data Do for a Football Club?" A Case Study of Brentford F.C. - AnalyiSport, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://analyisport.com/insights/what-can-data-do-for-a-football-club/>
2. The Brentford FC story: running a football club through data | Sport Performance Analysis, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.sportperformanceanalysis.com/article/2018/6/8/the-history-of-brentford-football-analytics>
3. Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems - PMC - NIH, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7064167/>
4. Full article: Interchangeability of position tracking technologies; can we merge the data?, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24733938.2019.1634279>
5. The Scouting Philosophy of Monchi - Issuu, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://issuu.com/hudl.analysis/docs/hudl-magazine-september-2021-digital/s/13689329>
6. We have got a very good structure of scouting and data at Sevilla: Monchi | Football News, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.hindustantimes.com/sports/football/we-have-got-a-very-good-structure-of-scouting-and-data-at-sevilla-monchi-101614358963674.html>
7. EPTS Test Manual May 2025 v12 | PDF | Sensitivity And Specificity | Acceleration - Scribd, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.scribd.com/document/920384957/EPTS-Test-Manual-May-2025-v12>
8. EPTS Testing Process - Inside FIFA, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://inside.fifa.com/innovation/standards/epts/epts-testing-process>
9. Methods to assess validity of positioning systems in team sports: can we do better?, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://bmjopensem.bmj.com/content/9/1/e001496>
10. Challenges and considerations in determining the quality of electronic performance & tracking systems for team sports - PMC - NIH, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10761404/>
11. [2508.19477] Concurrent validity of computer-vision artificial intelligence player tracking software using broadcast footage - arXiv, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://arxiv.org/abs/2508.19477>
12. Football players tracking with YOLOv5 + ByteTrack - Colab - Google, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://colab.research.google.com/github/roboflow-ai/notebooks/blob/main/notebooks/how-to-track-football-players.ipynb>
13. mradovic38/football\_analysis: A comprehensive tool for processing and analyzing video footage, producing detailed insights into gameplay and player performance enhancing game understanding and performance evaluation. - GitHub, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://github.com/mradovic38/football_analysis>
14. Football Analysis using YOLO , Open CV and Python - Ready Tensor, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://app.readytensor.ai/publications/football-analysis-using-yolo-open-cv-and-python-iqpLqUfdGGJM>
15. Training YOLOv8 for Football Object Detection: Insights from the Norwegian Eliteserien, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://medium.com/@waynemataara/training-yolov8-for-football-object-detection-insights-from-the-norwegian-eliteserien-7f0d00d28be8>
16. YOLOv8 struggles with detecting small objects · Issue #14330 - GitHub, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://github.com/ultralytics/ultralytics/issues/14330>
17. Annotating Sports Footage for Player Tracking AI - DataVLab, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://datavlab.ai/post/how-to-annotate-sports-footage-for-player-tracking-ai>
18. Sports Data Annotation: How to Label Sports Image - Roboflow Blog, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://blog.roboflow.com/label-sports-data-computer-vision/>
19. Football AI Tutorial: From Basics to Advanced Stats with Python - YouTube, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=aBVGKoNZQUw>
20. SoccerNet, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.soccer-net.org/>
21. Football Tracking using YOLOv8 and OpenCV - GitHub, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://github.com/AnshChoudhary/Football-Tracking>
22. Build an AI/ML Football Analysis system with YOLO, OpenCV, and Python - YouTube, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=neBZ6huolkg>
23. Football Players Tracking | YOLOv5 + ByteTRACK | Google Colab | step-by-step Tutorial, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=QCG8QMhga9k>
24. kloppy - kloppy 3.18.0, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://kloppy.pysport.org/>
25. Pattern matching in football event data - YouTube, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=r7frxADMgO8>
26. Automating ML/Deep Learning Project Structure Using Python | by Charles Jeyaseelan, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://medium.com/@itzcharles03/automating-ml-deep-learning-project-structure-using-python-ab602eaee916>
27. Generic Folder Structure for your Machine Learning Projects. - DEV Community, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://dev.to/luxdevhq/generic-folder-structure-for-your-machine-learning-projects-4coe>
28. Data and diversity a winning Brentford blend - Inside FIFA, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://inside.fifa.com/news/data-and-diversity-a-winning-brentford-blend>
29. 'It's a new world': the analysts using AI to psychologically profile elite players - The Guardian, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.theguardian.com/football/2025/apr/19/analysts-artificial-intelligence-psychologically-profile-elite-players>
30. Arsene Wenger interview | Player of the future - FIFA, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.fifa.com/en/news/articles/arsene-wenger-player-of-the-future-key-skills>
31. “AI will transform our game.” – Football icon Arsène Wenger - Lenovo StoryHub, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://news.lenovo.com/ai-will-transform-our-game-football-icon-arsene-wenger/>
32. A Staged Framework for Computer Vision Education: Integrating AI, Data Science, and Computational Thinking - MDPI, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/21/9792>
33. Computer Vision and Image Processing: Understanding the Distinction and Interconnection, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://opencv.org/blog/computer-vision-and-image-processing/>
34. Stanford University CS231n: Deep Learning for Computer Vision, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://cs231n.stanford.edu/>
35. Open Source Sports Analytics with PySport | Talk Python To Me Podcast, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://talkpython.fm/episodes/show/416/open-source-sports-analytics-with-pysport>
36. How to Become a Computer Vision Engineer: Skills, Free Tools - Roboflow Blog, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://blog.roboflow.com/how-to-become-a-computer-vision-engineer/>
37. SoccerNet Dataset: Sports Video Benchmark - Emergent Mind, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://www.emergentmind.com/topics/soccernet-dataset>
38. Getting started - kloppy 3.18.0 - PySport, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://kloppy.pysport.org/user-guide/getting-started/>
39. databallpy - PyPI, erişim tarihi Aralık 25, 2025, <https://pypi.org/project/databallpy/>