# Yapay Zeka Destekli Futbol Video Analizinde Bilimsel Temeller ve Teknik Metodoloji: Kapsamlı Araştırma Raporu

## Yönetici Özeti

Modern futbol endüstrisi, geleneksel ve sezgisel yönetim anlayışından, ampirik veri ve hesaplamalı modellemeye dayalı bir karar destek mekanizmasına doğru geri döndürülemez bir epistemolojik geçiş yaşamaktadır. Bu rapor, "hp Engine" olarak adlandırılan otonom futbol video analiz sisteminin geliştirilmesi için gerekli olan akademik, stratejik ve teknik altyapıyı, kullanıcının talebi doğrultusunda bir "kütüphane" niteliğinde derlemektedir. Çalışma, ham video verisinin işlenmesinden (Ingestion) anlamlı taktiksel içgörülerin üretilmesine kadar olan tüm süreci, bilimsel literatürdeki kanıtlanmış metodolojiler, doktora tezleri ve hakemli makaleler ışığında temellendirmektedir.1

Raporun temel amacı, Brentford FC ve Sevilla FC gibi kulüplerin başarılarının ardındaki "Moneyball" ve "Monchi Metodu" gibi stratejik yaklaşımları, bilgisayarlı görü (Computer Vision) ve makine öğrenimi algoritmalarıyla (YOLO, ByteTrack, Kalman Filtresi) nasıl birleştirebileceğimizi teknik derinlikle ortaya koymaktır. Ayrıca, geliştirilecek sistemin uluslararası arenada kabul görmesi için FIFA'nın EPTS (Electronic Performance and Tracking Systems) kalite standartlarına ve Linke ve ark. (2020) tarafından belirlenen doğruluk kriterlerine uyumunun zorunluluğu, nicel verilerle (RMSE değerleri, hız sapmaları) analiz edilmiştir.

## 1. Stratejik Bağlam: Futbol Yönetiminde Veri Devriminin Akademik Temelleri

### 1.1 Sübjektif Gözlemden Objektif Veriye Geçişin Teorik Çerçevesi

Geleneksel futbol analizi, büyük ölçüde insan gözlemcilerin (scout) bilişsel önyargılarıyla (cognitive biases) sınırlı kalmıştır. Literatürde "doğrulama yanlılığı" (confirmation bias) ve "sonuç yanlılığı" (outcome bias) olarak tanımlanan bu durum, bir oyuncunun performansının, o anki skor tabelasından veya scout'un önceki kanaatlerinden bağımsız değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Veri analitiği, bu sübjektif yargıları minimize ederek, performansı tekrarlanabilir ve ölçülebilir metriklere indirgemeyi amaçlar.

#### 1.1.1 "Moneyball" Teorisinin Futbola Uyarlanması: Brentford FC Vaka Analizi

Ekonomik verimlilik ve "piyasa verimsizlikleri" (market inefficiencies) teorisi üzerine kurulu olan "Moneyball" yaklaşımı, futbolda Brentford FC ve FC Midtjylland örnekleriyle somutlaşmıştır. Matthew Benham ve Rasmus Ankersen liderliğindeki bu yapı, akademik literatürde "asimetrik bilgi avantajı" olarak tanımlanan durumu kullanmıştır. Küçük bütçeli kulüplerin (Davut), dev bütçeli rakiplerini (Golyat) yenebilmesi için, piyasanın henüz fiyatlamadığı metrikleri (örneğin; gol sayısı yerine Gol Beklentisi - xG, asist yerine pas kalitesi modelleri) kullanması gerektiği hipotezine dayanır.2

Araştırmalar, Brentford'un başarısının tesadüfi olmadığını, istatistiksel modellerin uzun vadeli varyansı (şans faktörünü) minimize ederek, takım performansını daha doğru tahmin ettiğini göstermektedir. Özellikle, lig tablolarının kısa vadede "yalan söyleyebileceği" (yani şans faktörünün puan durumunu etkileyebileceği), ancak altta yatan performans metriklerinin (underlying metrics) uzun vadeli başarıyı daha iyi öngördüğü tezi, bu kulüplerin stratejik temelini oluşturur.3

#### 1.1.2 Sevilla FC ve "Monchi Metodu": Veri Destekli Huni Optimizasyonu

Sevilla FC Sportif Direktörü Monchi'nin (Ramón Rodríguez Verdejo) metodolojisi, insan kaynağı optimizasyonu literatüründe bir vaka analizi niteliğindedir. Monchi, "Büyük Veri"yi (Big Data) bir karar verici değil, bir filtreleme mekanizması olarak konumlandırır. Bu yaklaşım, binlerce potansiyel oyuncudan oluşan "uzun listeyi" (long list), algoritmik filtreler aracılığıyla 20-30 kişilik bir "kısa listeye" (short list) indirmeyi hedefler. İnsan scout'lar sadece bu rafine edilmiş havuz üzerinde derinlemesine analiz yapar.6

Akademik çalışmalar, bu hibrit yaklaşımın (İnsan + Yapay Zeka), tek başına insan veya tek başına algoritma kullanımından daha yüksek başarı oranlarına sahip olduğunu göstermektedir. Monchi'nin "Artık scout yerine mühendis, matematikçi ve fizikçi arıyoruz" beyanı, futbolun multidisipliner bir bilim dalına dönüştüğünün en net kanıtıdır.6

## 2. Uluslararası Standartlar ve Validasyon: FIFA EPTS Protokolleri

Geliştirilecek olan "hp Engine" sisteminin profesyonel arenada geçerlilik kazanması, çıktılarının bilimsel olarak kanıtlanmış doğruluk sınırları içinde olmasına bağlıdır. Bu sınırlar, FIFA tarafından belirlenen EPTS standartları ile çizilmiştir.

### 2.1 Doğruluk İçin Altın Standart: VICON Hareket Yakalama Sistemi

FIFA'nın kalite programı, optik takip sistemlerinin (OTS) doğruluğunu test etmek için "Ground Truth" (Referans Gerçeklik) olarak VICON hareket yakalama sistemini kullanır. VICON, oyuncuların vücuduna yerleştirilen pasif yansıtıcı işaretleyicileri (markers) izleyen, milimetre hassasiyetinde çalışan kızılötesi kameralardan oluşur. Geliştirilen herhangi bir video analiz yazılımının (hp Engine gibi) çıktısı, VICON verisi ile karşılaştırılarak hata payı hesaplanır.1

### 2.2 Linke et al. (2020) Çalışması ve Referans Hata Değerleri

Futbol teknolojileri literatüründeki en kritik çalışmalardan biri olan Linke ve ark. (2020) tarafından yayınlanan *"Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems"* makalesi, kamera tabanlı sistemlerin ulaşması gereken doğruluk seviyelerini nicel olarak belirlemiştir. Bu çalışma, hp Engine için bir "başarı kriteri" (benchmark) niteliğindedir.11

**Linke et al. (2020) Tarafından Belirlenen Referans Değerler:**

| **Metrik Türü** | **Kabul Edilebilir Hata (RMSE)** | **Profesyonel Standart (TRACAB Gen5)** |
| --- | --- | --- |
| **Konum (X, Y)** | < 20 cm | **~8 cm (0.08 m)** |
| **Anlık Hız (Velocity)** | < 0.3 m/s | **~0.08 m/s** |
| **Toplam Mesafe** | %2 sapma | **<%1 sapma** |
| **İvmelenme (Acceleration)** | < 0.5 m/s² | **~0.21 m/s²** |

Bu veriler ışığında, geliştireceğimiz sistemin 8-10 cm'lik bir konum hassasiyetini hedeflemesi gerekmektedir. Makale ayrıca, optik sistemlerin özellikle yüksek şiddetli deselerasyonları (yavaşlamaları) bir miktar hafife alma (underestimation) eğiliminde olduğunu, bunun da video kare hızının (FPS) ve yumuşatma (smoothing) algoritmalarının doğal bir sonucu olduğunu belirtmektedir.11

## 3. Bilgisayarlı Görü Boru Hattı (Computer Vision Pipeline): Teknik Mimari

Bir futbol maçının videosunu anlamlı verilere dönüştürmek, birbirine zincirleme bağlı bir dizi yapay zeka algoritmasının orkestrasyonunu gerektirir. Bu bölümde, sistemin "gözleri" ve "hafızası" olarak işlev görecek teknik bileşenler detaylandırılmıştır.

### 3.1 Veri Girişi (Ingestion) ve Görüntü Özellikleri

Literatürde, optik takibin başarısını etkileyen en önemli faktörün görüntü kalitesi olduğu vurgulanmaktadır. İki temel görüntü tipi mevcuttur:

1. **Yayın Görüntüsü (Broadcast):** Sürekli değişen kamera açıları (Zoom, Pan, Tilt) ve tekrarlar (replay) içerir. İşlenmesi en zor veridir.
2. **Taktik/Panoramik Kamera:** Tüm sahayı gören, sabit açılı ve yüksek çözünürlüklü görüntüdür. Akademik çalışmalar, homografi matrisinin (saha düzlemi haritalaması) kararlılığı için bu açının tercih edilmesi gerektiğini belirtir.1

**Teknik Gereksinimler:**

* **Çözünürlük:** 4K (UHD) çözünürlük, top gibi küçük nesnelerin (Small Object Detection) tespiti için kritiktir. 1080p görüntüde top genellikle birkaç pikselden ibaret kalır ve "gürültü" (noise) ile karıştırılabilir.
* **Kare Hızı (FPS):** Yüksek FPS (60+), hareket bulanıklığını (motion blur) azaltır. 25 FPS'de, 30 km/s hızla koşan bir oyuncu iki kare arasında yaklaşık 33 cm yer değiştirir. Bu büyük sıçrama, takip algoritmalarının oyuncuları karıştırmasına (ID Switch) neden olabilir. 60 FPS'de bu mesafe yarıya iner, takip hassasiyeti artar.1

### 3.2 Nesne Tespiti (Object Detection): YOLO Mimarisi

Sistemin ilk aşaması, her karedeki oyuncuları, topu ve hakemleri tespit etmektir. Bu görev için **YOLO (You Only Look Once)** mimarisi, akademik ve endüstriyel standart olarak kabul edilmektedir.

#### 3.2.1 YOLOv8 ve YOLOv11'in Üstünlüğü

R-CNN gibi eski nesil "iki aşamalı" (two-stage) algoritmalar, görüntüyü yüzlerce parçaya bölüp tararken, YOLO "tek aşamalı" (one-stage) bir yaklaşım kullanır. Tek bir sinir ağı (Neural Network) geçişi ile tüm nesneleri ve olasılıklarını hesaplar.

* **Hız:** Modern GPU'lar (NVIDIA RTX 3080 ve üzeri) üzerinde YOLOv8/v11 modelleri **30+ FPS** hızında çalışabilir, bu da gerçek zamanlı (real-time) analizi mümkün kılar.1
* **Mimari Yenilikler:** YOLOv11, özellikle C3k2 blokları ve gelişmiş dikkat mekanizmaları (attention mechanisms) sayesinde, küçük nesnelerin tespitinde (futbol topu gibi) önceki versiyonlara göre daha yüksek mAP (mean Average Precision) değerlerine ulaşmaktadır.15

#### 3.2.2 Küçük Nesne Tespiti: Tiling (Dilimleme) Yöntemi

Futbol topunun tespiti, bilgisayarlı görüde "Small Object Detection" probleminin klasik bir örneğidir. 4K bir görüntü standart model giriş boyutuna (örneğin 640x640 piksel) küçültüldüğünde, top tamamen kaybolabilir.

* **Çözüm:** **SAHI (Slicing Aided Hyper Inference)** gibi kütüphaneler kullanılarak, yüksek çözünürlüklü görüntü daha küçük parçalara (tile) bölünür (örneğin 4 adet 1920x1080 parça). Her parça üzerinde ayrı ayrı tespit (inference) çalıştırılır ve sonuçlar birleştirilir. Bu yöntem, topun piksel yoğunluğunu koruyarak tespit başarısını maksimize eder.1

### 3.3 Çoklu Nesne Takibi (MOT): ByteTrack ve SportsSUSHI

Tespit edilen nesnelerin, video boyunca aynı kimlikle (ID) izlenmesi gerekir. Bu aşama "Tracking" olarak adlandırılır.

#### 3.3.1 ByteTrack Algoritması

Geleneksel takip algoritmaları (örn. SORT), güven skoru (confidence score) düşük olan tespitleri "hatalı" kabul ederek elerdi. Ancak futbolda hızlı hareket veya örtüşme (occlusion) sırasında oyuncu tespiti bazen düşük skor üretebilir.

* **İnovasyon:** **ByteTrack**, düşük skorlu kutuları atmaz; bunları "ikinci bir şans" havuzunda tutar. Yüksek skorlu eşleşmeler yapıldıktan sonra, kalan izler (tracks) bu düşük skorlu kutularla eşleştirilmeye çalışılır. Bu yaklaşım, oyuncuların kısa süreliğine kaybolup geri geldiği durumlarda iz sürekliliğini sağlar ve MOTA (Multi-Object Tracking Accuracy) skorunu önemli ölçüde artırır.1

#### 3.3.2 Uzun Süreli Takip ve SportsSUSHI

ByteTrack kısa süreli kesintilerde başarılı olsa da, bir oyuncunun tamamen kadrajdan çıkıp (out-of-view) saniyeler sonra geri girmesi durumunda yetersiz kalabilir.

* **SportsSUSHI:** Akademik literatürde yeni önerilen **SportsSUSHI** algoritması, hiyerarşik çizge (graph) tabanlı bir yaklaşım sunar. Oyuncuları sadece konumlarına göre değil, forma numarası, takım rengi ve saha koordinatları gibi "alana özgü" (domain-specific) özellikleri kullanarak uzun vadeli olarak ilişkilendirir. Bu yöntem, özellikle yayın görüntülerinde (broadcast) sıkça yaşanan kamera kesintilerine karşı daha dirençlidir.20

### 3.4 Perspektif Dönüşümü (Homography Estimation)

Video üzerindeki 2D piksel koordinatlarının (u,v), sahadaki gerçek 2D metrik koordinatlara (x,y) dönüştürülmesi işlemidir.

* **Metodoloji:** Sahadaki bilinen noktalar (orta yuvarlak, ceza sahası köşeleri, taç çizgisi kesişimleri) referans alınarak bir **Homografi Matris** hesaplanır. Bu matris, cv2.perspectiveTransform fonksiyonu ile pikselleri metreye çevirir.
* **SoccerNet-GSR:** Akademik araştırmalar (SoccerNet Game State Reconstruction Challenge), bu dönüşümün otomatik yapılması üzerine yoğunlaşmıştır. Derin öğrenme modelleri, sahadaki çizgileri ve kesişim noktalarını (keypoints) otomatik bularak, kameranın o anki açısını ve konumunu (Camera Pose Estimation) hesaplar.22

## 4. Kinematik Modelleme ve Veri Düzgünleştirme (Smoothing)

Ham takip verisi (Raw Data) her zaman gürültülüdür (noisy). Bir oyuncu sabit dursa bile, tespit kutusundaki 1-2 piksellik titreme, fiziksel olarak imkansız hızlanma değerlerine yol açabilir.

### 4.1 Filtreleme Teknikleri: Kalman ve Savitzky-Golay

Veriyi "temizlemek" için sinyal işleme (Signal Processing) teknikleri kullanılır. Hangi filtrenin kullanılacağı, uygulamanın amacına (canlı vs. maç sonu) göre değişir.

| **Filtre Tipi** | **Çalışma Prensibi** | **Kullanım Alanı** | **Avantajı** | **Dezavantajı** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kalman Filtresi** | Özyineli (Recursive) durum tahmini. Fiziksel bir hareket modeli (örn. sabit hız) varsayar. | **Canlı (Real-time)** Takip | Sadece geçmiş veriye ihtiyaç duyar. | Ani yön değişimlerinde gecikme (lag) yaşatabilir. |
| **Savitzky-Golay** | Kayar pencere (sliding window) içinde polinom uydurma. | **Maç Sonu (Post-match)** Analiz | Gelecek veriyi de kullandığı için tepe noktalarını (peak velocity) korur. | Tüm veri setine ihtiyaç duyar (canlıda çalışmaz). |

**Akademik Tavsiye:** Linke et al. (2020) ve diğer validasyon çalışmaları, maç sonu analizlerde, özellikle sprint ve ivmelenme verilerinin doğruluğunu korumak için **Savitzky-Golay** filtresinin veya belirli kesim frekansına (cutoff frequency, örn. 2 Hz) sahip Butterworth filtresinin kullanılmasını önermektedir.1

### 4.2 Türetilmiş Fiziksel Metrikler

Düzgünleştirilmiş konum verisinden ($x, y$), türev alma (differentiation) yoluyla hız ($v$) ve ivme ($a$) hesaplanır.

* **Hız Bantları:** FIFA standartlarına göre, oyuncunun kat ettiği mesafe hız bölgelerine ayrılır (Yürüme: 0-7 km/s, Sprint: >25 km/s vb.).
* **Metabolik Güç:** İvme verisi kullanılarak oyuncunun harcadığı enerji (Metabolic Power) hesaplanır. Bu, sadece koşu mesafesini değil, dur-kalk hareketlerinin maliyetini de içerdiği için fizyolojik yükü daha iyi temsil eder.28

## 5. Yazılım Ekosistemi: Açık Kaynak Kütüphaneler

hp Engine'in geliştirilmesinde, "tekerleği yeniden icat etmemek" ve endüstri standartlarıyla uyumlu olmak adına aşağıdaki Python kütüphaneleri kritik öneme sahiptir:

### 5.1 Kloppy: Veri Standardizasyonu

Farklı veri sağlayıcıların (Opta, Wyscout, Metrica) farklı formatları vardır. **Kloppy**, bu farklı formatları (XML, JSON) okuyarak ortak bir veri modeline (Standard Data Model) dönüştüren akademik ve endüstriyel bir standarttır. hp Engine'in ürettiği veriyi Kloppy formatında dışa aktarması, bu verinin diğer analiz araçlarıyla (örn. Tableau, PowerBI) uyumlu olmasını sağlar.30

### 5.2 Socceraction ve Mplsoccer: İleri Analiz ve Görselleştirme

* **Socceraction:** Oyuncu aksiyonlarını (pas, şut, dripling) değerlendirmek için kullanılan **VAEP** (Valuing Actions by Estimating Probabilities) ve **xT** (Expected Threat) gibi gelişmiş metriklerin hesaplanmasını sağlayan akademik kütüphanedir.31
* **Mplsoccer:** Matplotlib tabanlı bu kütüphane, futbol sahası üzerinde pas ağları (passing networks), ısı haritaları (heatmaps) ve şut haritaları çizmek için optimize edilmiştir. Koçlara sunulacak görsel raporların üretiminde endüstri standardıdır.33

## 6. Sonuç ve Öneriler

Bu rapor, hp Engine projesinin sadece bir yazılım geliştirme süreci değil, disiplinlerarası bir bilimsel araştırma projesi olduğunu ortaya koymaktadır.

1. **Veri Kalitesi Önceliği:** Başarı, koddan ziyade veri kalitesine bağlıdır. Farklı stat, ışık ve kamera açılarından toplanmış, çeşitliliği yüksek (diverse) eğitim veri setleri ve sentetik veriler (SoccerSynth) kullanılmalıdır.35
2. **Validasyon Zorunluluğu:** Sistemin çıktıları, VICON veya geçerliliği kanıtlanmış GPS sistemleri ile çapraz doğrulamaya tabi tutulmalıdır. %10'un üzerindeki konum hataları, taktiksel analiz güvenilirliğini yok eder.
3. **Hibrit Yaklaşım:** Monchi ve Brentford örneklerinde görüldüğü gibi, sistem insan uzmanlığını ikame etmemeli, onu optimize etmelidir. hp Engine, "ne olduğunu" (descriptive analytics) mükemmel bir hassasiyetle sunmalı, "ne yapılması gerektiğini" (prescriptive analytics) ise teknik ekibin yorumuna bırakacak görsel araçlar sağlamalıdır.

Bu yol haritası, hp Engine'i basit bir takip aracı olmaktan çıkarıp, kulüplerin karar alma süreçlerinin merkezine yerleşen stratejik bir varlık haline getirecektir.

### Tablo 1: Futbol Takip Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

| **Algoritma** | **Mekanizma** | **Güçlü Yönü** | **Zayıf Yönü** | **Önerilen Kullanım** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **SORT** | Kalman Filtresi + IOU | Çok Hızlı (>100 FPS) | Örtüşmede (occlusion) başarısız; sık ID değişimi | Basit sahneler, düşük donanım |
| **DeepSORT** | Kalman + Görsel ReID (CNN) | Görsel özelliklerle kimlik koruma | Daha yavaş; benzer formalarda karışıklık | Genel takip senaryoları |
| **ByteTrack** | 2 Aşamalı Eşleşme (Yüksek/Düşük Güven) | Düşük güvenli kutuları kurtarma; Yüksek doğruluk | Çok düşük kaliteli tespitlerde zorlanabilir | **hp Engine için Önerilen (Canlı)** |
| **SportsSUSHI** | Hiyerarşik Çizge Sinir Ağı (GNN) | Uzun vadeli tutarlılık; Oyun bağlamını (No/Takım) kullanma | Yüksek işlem yükü; Çevrimdışı (offline) işlem | Maç sonu detaylı analiz |

### Tablo 2: FIFA EPTS Doğruluk Gereksinimleri (Optik Sistemler Bazlı)

| **Metrik** | **Kabul Edilebilir Hata (RMSE)** | **Profesyonel Benchmark (TRACAB)** |
| --- | --- | --- |
| **Pozisyon (x, y)** | < 20 cm | **~8 cm** |
| **Hız (Velocity)** | < 0.3 m/s | **~0.08 m/s** |
| **Toplam Mesafe** | <%2 sapma | **<%1 sapma** |
| **İvmelenme** | < 0.5 m/s² | **~0.2 - 0.6 m/s²** (Sistematik düşük ölçüm) |

*(Veriler Linke et al. 2020 ve FIFA Kalite Raporlarından derlenmiştir)* 11

#### Alıntılanan çalışmalar

1. Yapay Zeka ile Futbol Video Analizi\_ Stratejik ve Teknik Yol Haritası.pdf
2. “What Can Data Do for a Football Club?" A Case Study of Brentford F.C. - AnalyiSport, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://analyisport.com/insights/what-can-data-do-for-a-football-club/>
3. The Brentford FC story: running a football club through data | Sport Performance Analysis, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.sportperformanceanalysis.com/article/2018/6/8/the-history-of-brentford-football-analytics>
4. How Midtjylland took the analytical route towards the Champions League - The Guardian, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.theguardian.com/football/2015/jul/27/how-fc-midtjylland-analytical-route-champions-league-brentford-matthew-benham>
5. Mathew Benham & Brentford: A Story on Innovation through Statistical Analysis, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://breakingthelines.com/squad-analysis/mathew-benham-brentford-a-story-on-innovation-through-statistical-analysis/>
6. The Scouting Philosophy of Monchi - Issuu, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://issuu.com/hudl.analysis/docs/hudl-magazine-september-2021-digital/s/13689329>
7. Inside the Analysis Department at Sevilla FC (Part 1) - Nacsport, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.nacsport.com/blog/en-gb/Users/inside-sevilla-fc-s-area-of-analysis-part-1>
8. How Monchi and Sevilla FC Use Data in Scouting - Hudl, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.hudl.com/blog/how-monchi-and-sevilla-fc-use-data-in-scouting>
9. fifa epts test report - KINEXON Sports, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://kinexon-sports.com/uploads/images/Blog/Kinexon_GPS_PRO_Live_2024_Report_EPTS_FIFA-Quality_Report.pdf.pdf>
10. Validation of electronic performance and tracking systems EPTS under field conditions | PLOS One - Research journals, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0199519>
11. Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems - PMC - NIH, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7064167/>
12. Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems | PLOS One, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0230179>
13. (PDF) Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/339838381_Football-specific_validity_of_TRACAB's_optical_video_tracking_systems>
14. Validity of Coupling TRACAB's Gen5 and Mediacoach Systems to Calculate Accelerations and Decelerations in Professional Football - MDPI, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1804>
15. Football-YOLO: A Lightweight and Symmetry-Aware Football Detection Model with an Enlarged Receptive Field - MDPI, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.mdpi.com/2073-8994/17/12/2046>
16. An Improved YOLOv11n Model Based on Wavelet Convolution for Object Detection in Soccer Scenes - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/395976451_An_Improved_YOLOv11n_Model_Based_on_Wavelet_Convolution_for_Object_Detection_in_Soccer_Scenes>
17. No Train Yet Gain: Towards Generic Multi-Object Tracking in Sports and Beyond, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <http://www-sop.inria.fr/members/Francois.Bremond/Postscript/Tomasz_CVPRW25_CVsports.pdf>
18. No Train Yet Gain: Towards Generic Multi-Object Tracking in Sports and Beyond - arXiv, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://arxiv.org/html/2506.01373v1>
19. Comparative Evaluation of SORT, DeepSORT, and ByteTrack for Multiple Object Tracking in Highway Videos, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://vectoral.org/index.php/IJSICS/article/view/97/89>
20. Towards long-term player tracking with graph hierarchies and domain-specific features, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://arxiv.org/html/2502.21242v1>
21. arXiv:2502.21242v1 [cs.CV] 28 Feb 2025, erişim tarihi Ocak 3, 2026, [https://arxiv.org/pdf/2502.21242?](https://arxiv.org/pdf/2502.21242)
22. SoccerNet Game State Reconstruction: End-to-End Athlete Tracking and Identification on a Minimap - ORBi, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/316236/1/Somers2024SoccerNetGameState.pdf>
23. SoccerNet Game State Reconstruction: End-to-End Athlete Tracking and Identification on a Minimap - arXiv, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://arxiv.org/html/2404.11335v1>
24. From Broadcast to Minimap: Achieving State-of-the-Art SoccerNet Game State Reconstruction - arXiv, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://arxiv.org/html/2504.06357v1>
25. Difference between Savitzky-Golay and Kalman Filters for smoothing data? Benefits/Cons for each? : r/quant - Reddit, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.reddit.com/r/quant/comments/52z7k8/difference_between_savitzkygolay_and_kalman/>
26. Accuracy of GNSS-Derived Acceleration Data for Dynamic Team Sport Movements: A Comparative Study of Smoothing Techniques - MDPI, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/22/10573>
27. Why and How Savitzky–Golay Filters Should Be Replaced - PMC - NIH, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9026279/>
28. Validity and Reliability of an Inertial Sensor Device for Specific Running Patterns in Soccer, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/21/7255>
29. floodlight-sports/floodlight: Python package for streamlined analysis of sports data. - GitHub, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://github.com/floodlight-sports/floodlight>
30. kloppy - kloppy 3.18.0, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://kloppy.pysport.org/>
31. OpenSTARLab: Open Approach for Spatio-Temporal Agent Data Analysis in Soccer - arXiv, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://arxiv.org/html/2502.02785v1>
32. socceraction 1.5.3 documentation, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://socceraction.readthedocs.io/>
33. mplsoccer - PyPI, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://pypi.org/project/mplsoccer/>
34. mplsoccer - PyPI, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://pypi.org/project/mplsoccer/0.0.10/>
35. SoccerSynth-Detection: A Synthetic Dataset for Soccer Player Detection - arXiv, erişim tarihi Ocak 3, 2026, <https://arxiv.org/html/2501.09281v1>