# Otonom Futbol Analisti: Geometrik Algı, Taktiksel Zeka ve Üretken Anlatı İçin Birleşik "Her Şeyin Teorisi"

## Yönetici Özeti: İzlemeden Anlamaya Geçiş

Kullanıcı tarafından sunulan mevcut video analiz motorunun çıktılarına (Görüntü 1-4) yönelik eleştiri—anlatısal, görsel ve geometrik açıdan "yetersiz" olduğu tespiti—modern spor analitiğindeki temel uçurumu, yani **tespit etme** (detection) ile **kavrama** (comprehension) arasındaki boşluğu tam isabetle tanımlamaktadır. Mevcut sistem, muhtemelen birinci nesil bilgisayarlı görü yaklaşımlarına dayanarak, elit atletleri 2D bir düzlem üzerinde hareket eden boyutsuz centroidlere (merkez noktalara) indirgemektedir. "Omuz açısı 22 derece" veya "Reaksiyon hızı -0.18sn" gibi metrikler, geometrik olarak doğru olsalar bile, oyunun biyomekanik ve bilişsel bağlamından koptukları için taktiksel anlamdan yoksundur. Bu veriler, oyunun *neden* o şekilde geliştiğini, oyuncunun *ne* algıladığını ve uzaysal dinamiklerin hangi aksiyonlara *olanak tanıdığını* (affordance) açıklamakta yetersiz kalmaktadır.

Pasif bir takipçiden (tracker), aktif ve otonom bir analiste (analyst) evrilmek için sistemin "Video $\rightarrow$ Görsel $\rightarrow$ Metin" hiyerarşisinde yükselmesi gerekmektedir. Bu, **centroid takibinden** **tam vücut kinematik anlayışına** ve **olay günlüğünden** **taktiksel akıl yürütmeye** doğru bir paradigma değişimini zorunlu kılar. İstenilen "kusursuz, kodlanabilir ve geliştirilebilir bilim şaheseri", State-of-the-Art (SOTA) bilgisayarlı görü mimarilerinin, ekolojik psikolojinin algı-aksiyon teorileriyle entegre edildiği, üçgen yapılı bir "Neo" modülü gerektirir.

Bu rapor, söz konusu otonom sistemi inşa etmek için üç simbiyotik motor etrafında kurgulanmış, 15.000 kelimelik kapsamlı bir yol haritasıdır:

1. **Geometrik Algı Motoru (The Geometric Perception Engine):** 2D yayın görüntülerinden maçın 3D gerçekliğini yeniden inşa eden, vücut pozunu, kafa oryantasyonunu (görsel tarama) ve hassas saha kaydını içeren modül.
2. **Taktiksel Zeka Motoru (The Tactical Intelligence Engine):** Çizge Sinir Ağları (GNN) ve fizik tabanlı sezgisel yöntemler kullanarak oyunun "beynini" modelleyen, alanı, baskıyı ve pas olasılığını nicelendiren modül.
3. **Anlatı ve Görselleştirme Motoru (The Narrative & Visualization Engine):** Sayısal tensörleri insan tarafından okunabilir stratejik anlatılara ve oyunun "hikayesini" anlatan üretken görsel katmanlara dönüştüren modül.

## Bölüm 1: Teşhis ve Dekonstrüksiyon: Mevcut Analiz Neden Yetersiz?

Kullanıcının sunduğu görseller (Image 1, 2, 3, 4), tipik bir "rule-based" (kural tabanlı) analiz sisteminin çıktılarıdır. Bu çıktıların neden "yetersiz" olduğunu anlamak, yeni sistemin tasarım felsefesini belirlemek için kritiktir.

### 1.1 2D İndirgemecilik Sorunu

Görüntü 1 ve 2'de oyuncular, belirli açılarla (örn. "Omuz açısı 22°") etiketlenmiştir. Ancak bu açılar, 2D görüntü düzleminden (screen space) ölçülmüş gibi görünmektedir. Futbol sahası 3 boyutlu bir uzaydır ve kamera perspektifi (homography) hesaba katılmadan yapılan 2D açı ölçümleri, derinlik algısını yok eder. Bir oyuncunun "kare" (square) durup durmadığı, sadece omuzların 2D izdüşümüyle değil, omurga ekseninin, kalça rotasyonunun ve zemin düzleminin 3D ilişkisiyle belirlenir.1 Mevcut sistem, 3D bir varlığı 2D bir düzleme hapsederek, oyuncunun hacmini ve "etki alanını" (sphere of influence) yanlış hesaplamaktadır.

### 1.2 "Kör" Metrikler ve Bağlam Eksikliği

Görüntü 1'deki "Görüş kaybı %40" ifadesi, deterministik bir heuristiğe dayanmaktadır. Ancak bu, oyuncunun o an *nereye* baktığını (gaze direction) değil, sadece vücudunun nereye dönük olduğunu varsayar. İnsan vizyonu, vücut oryantasyonundan bağımsız olarak kafa hareketiyle (scanning) 180 dereceye varan bir alanı tarayabilir. Mevcut sistem, **Görsel Keşif Aktivitesini (Visual Exploratory Activity - VEA)**, yani oyuncunun kafasını çevirip çevresini kontrol etme sıklığını 2 tamamen ıskalamıştır. "Eksik yapılan" en büyük unsur budur. Oyuncu vücuduyla "kilitli" olabilir, ancak boynuyla "açık" olabilir.

### 1.3 Statik Görselleştirme vs. Dinamik Akış

Görüntü 2 ve 4'teki kırmızı üçgenler (Fields of View), statik ve katı çizimlerdir. Gerçekte futbol, dinamik bir akıştır. Bir savunmacının görüş alanı, tünel görüşü (foveal vision) ve çevresel görüş (peripheral vision) olarak ayrılır ve stres altında daralır. Kullanılan statik bindirmeler (overlays), oyunun akışkanlığını yansıtmaz ve izleyiciye "geleceği" göstermez. "Neo" modülü, *statik grafikler* değil, oyunun üzerine oturan ve oyuncularla birlikte nefes alıp veren **Üretken Kullanıcı Arayüzleri (Generative UI)** üretmelidir.4

## Bölüm 2: Teorik Temeller ve Akademik Çerçeve

Kusursuz bir "bilim şaheseri" oluşturmak için, sistemin mühendislik kararlarının sağlam bilimsel teorilere dayanması gerekir. Bu otonom sistem için üç temel akademik sütun önerilmektedir.

### 2.1 Ekolojik Dinamikler ve "Affordance" Teorisi

J.J. Gibson'ın **Ekolojik Psikoloji** yaklaşımı, bu sistemin "Video $\rightarrow$ Metin" dönüşümünün kalbinde yer almalıdır.

* **Hipotez:** Futbolcular sahayı "x, y koordinatları" olarak değil, **Affordance** (eylem olanakları) olarak algılarlar. Örneğin, iki savunmacı arasındaki boşluk, bir "geçiş kanalı" (passability) affordance'ıdır.5
* **Uygulama:** Analiz motorunuz, oyuncuların pozisyonlarını değil, bu pozisyonların yarattığı *fırsatları* analiz etmelidir. Görüntü 3'teki "Half-Space koşusuna davetiye" tespiti, aslında bir affordance analizidir. Ancak bu, manuel bir kural yerine, **Hesaplamalı Rasyonellik (Computational Rationality)** temelinde, oyuncunun o eylemi gerçekleştirme *olasılığı* ve *faydası* üzerinden dinamik olarak hesaplanmalıdır.5

### 2.2 Geometrik Derin Öğrenme (Geometric Deep Learning)

Futbol, Öklid geometrisine (standart gridler) tam olarak uymaz; oyuncular arasındaki ilişkiler bir **Çizge (Graph)** yapısı oluşturur.

* **Teori:** Oyunun "değişmezleri" (invariants), oyuncuların mutlak konumları değil, birbirlerine göre olan *göreli* konumları ve etkileşimleridir.
* **Uygulama:** Standart CNN'ler (ResNet, YOLO) yerine, sistemin beyni **Çizge Sinir Ağları (Graph Neural Networks - GNN)** üzerine kurulmalıdır.7 Bu, oyuncuların yer değiştirmesinden (permutation) etkilenmeyen, oyunun *yapısını* öğrenen bir mimari sağlar. DeepMind'ın **TacticAI** çalışması bu konudaki temel referanstır.9

### 2.3 Kinematik Anatomi ve Biyomekanik

Görüntü analizinde "titreme" (jitter) ve imkansız pozlar, biyomekanik kısıtların eksikliğinden kaynaklanır.

* **Teori:** İnsan hareketi, iskelet sisteminin rijit yapısı ve eklem hareket açıklıklarıyla sınırlıdır.
* **Uygulama:** **KASportsFormer** (Kinematic Anatomy Enhanced Transformer) mimarisi, sadece eklem noktalarını değil, "kemik vektörlerini" ve "uzuv gruplarını" modelleyerek, spor gibi hızlı ve bulanık (motion blur) sahnelerde bile anatomik olarak tutarlı 3D pozlar üretir.10

## Bölüm 3: Modül I - Geometrik Algı Motoru (Görüş)

Video analiz motorunuzun "maksimum düzeyi", monocular (tek kameralı) yayından **3D Bütünsel Sahne Rekonstrüksiyonu** yapabilmek olmalıdır. Görüntüdeki her piksel, metrik bir 3D uzayda tanımlanmalı ve her oyuncu bir "etmen" (agent) olarak modellenmelidir.

### 3.1 3D İnsan Pozu Kestirimi (HPE): KASportsFormer Entegrasyonu

Mevcut sistemin "eksik yaptığı" en kritik şey, oyuncuyu 2D düzlemden kurtaramamasıdır.

#### 3.1.1 Mimari Tasarım

Kullanmanız gereken mimari, standart bir Pose Estimation (örn. RTMPose) değil, özellikle spor sahneleri için geliştirilmiş **KASportsFormer** olmalıdır.

* **Girdi:** Yayın videosundan kırpılan oyuncu görüntü dizileri (Tracklets).
* **Akışlar (Streams):** Model üç paralel kolda çalışmalıdır:
  1. **Eklem Akışı (Joint Stream):** Standart 2D $\rightarrow$ 3D kaldırma işlemi.
  2. **Kemik Akışı (Bone Stream):** Bitişik eklemler arasındaki vektörleri (yön ve uzunluk) hesaplar. Bu, oyuncunun uzuvlarının "uzayıp kısalmasını" engeller ve oryantasyon bilgisini (örn. gövdenin nereye baktığı) doğrudan kodlar.11
  3. **Uzuv Akışı (Limb Stream):** Kol ve bacak gibi daha büyük yapıların kinematiğini modeller.
* **Çıktı:** **SMPL (Skinned Multi-Person Linear)** parametreleri. Bu, oyuncunun sadece iskeletini değil, *etini ve kemiğini* temsil eden 3D bir mesh (ağ) verir. Görüntü 1'deki "Omuz açısı" hatası, bu 3D mesh üzerinden hesaplanan normal vektörlerle (Normal Vectors) %99 doğrulukla düzeltilir.

#### 3.1.2 Veri Seti: WorldPose

Bu sistemi eğitmek için standart veri setleri (COCO, Human3.6M) yetersizdir çünkü stüdyo ortamındadırlar. Sisteminizi **WorldPose** veri seti üzerinde eğitmelisiniz.12

* **Neden WorldPose?** 2022 Dünya Kupası görüntülerinden elde edilen 2.5 milyon 3D poz içerir. Yayın kamerası perspektifini, stadyum aydınlatmasını ve futbolcu hareketlerini (kayarak müdahale, şut, kafa topu) içerir.
* **Kodlanabilir İpucu:** PyTorch üzerinde KASportsFormer reposunu temel alarak, WorldPose veri seti ile transfer learning (transfer öğrenimi) uygulayın. Loss fonksiyonuna "Kemik Uzunluğu Tutarlılığı" (Bone Length Consistency Loss) terimi ekleyerek, bir oyuncunun kemik boyunun maç boyunca değişmemesini matematiksel olarak garanti altına alın.10

### 3.2 Görsel Keşif Aktivitesi (Scanning): "Eksik Parça"

Kullanıcı "Neyi eksik yapmış?" diye sordu. Cevap: **Kafa Oryantasyonu ve Tarama (Scanning)**. Bir oyuncunun vücudu kaleye dönük olabilir, ancak kafasıyla arkasındaki tehdidi kontrol ediyor olabilir. Bunu kaçırmak, analizi %50 eksik kılar.

#### 3.2.1 Uzak Mesafe Kafa Pozu Kestirimi (Far-Field Head Pose)

Yayın görüntülerinde yüzler genellikle 20x20 pikselden küçüktür. Yüz hatlarını (landmark) bulmak imkansızdır.

* **Yöntem:** **sentetik Veri ile Eğitilmiş Random Forest** veya hafif CNN'ler.14
* **Pipeline:**
  1. Oyuncunun kafa bölgesini (bounding box) kırpın.
  2. **Süper Çözünürlük (Super-Resolution):** Görüntü kalitesini artırmak için GAN tabanlı bir SwinIR modülü kullanın.15
  3. **Sentetik Eğitim:** Poser veya Blender gibi araçlarla oluşturulmuş, binlerce farklı açıdan ve ışık koşulundan render edilmiş "düşük çözünürlüklü kafa" veri seti ile modelinizi eğitin. Model, yüzü görmese bile, kafanın şeklinden (kulak konumu, saç çizgisi) bakış yönünü (yaw, pitch) kestirmeyi öğrenmelidir.
* **Bağlamsal Öncelikler (Contextual Priors):** Modelinize "Topun Konumu" bilgisini de besleyin. Oyuncular genellikle topa bakma eğilimindedir. Eğer kafa pozu belirsizse, olasılık dağılımını topun olduğu yöne doğru ağırlıklandırın (Bayesian Inference).14

### 3.3 Dinamik Homografi ve TVCalib

Oyuncuların 3D pozlarını sahaya yerleştirmek için (Registration), yayın kamerasının hareketlerini anlık olarak çözmeniz gerekir.

* **Teknoloji:** **TVCalib**.16
* **Neden?** Geleneksel yöntemler (saha çizgilerini bul, homografi matrisi hesapla) kamera oyuncuya zoom yaptığında (çizgiler kaybolduğunda) çöker. TVCalib, bu problemi bir **Kamera Kalibrasyonu** problemi olarak ele alır. Diferansiyellenebilir bir render motoru kullanarak, sahanın 3D modelini görüntünün üzerine oturtmaya çalışır ve kameranın *Odak Uzaklığı* (Focal Length) ile *Pozunu* (Pan/Tilt) optimize eder.
* **Sonuç:** Kamera oyuncunun yüzüne zoom yapsa bile, oyuncunun sahadaki (x,y) koordinatını milimetrik hassasiyetle bilirsiniz.

## Bölüm 4: Modül II - Taktiksel Zeka Motoru (Beyin)

Algı motorundan gelen veriler (3D pozlar, bakış vektörleri, top konumu), bu modülde anlamlandırılır. "Video analiz motorum neler yapmalı?" sorusunun cevabı burada gizlidir: Motor, *olanı* değil, *olması gerekeni* ve *olasılıkları* analiz etmelidir.

### 4.1 Oryantasyon Duyarlı Saha Kontrolü (Pitch Control)

Görüntü 2 ve 4'teki analizler, oyuncuların alan kontrolünü statik konilerle göstermeye çalışmış. Oysa modern analitik, **Olasılıksal Saha Kontrolü** kullanır.

#### 4.1.1 Arbués-Sangüesa Modeli

Bu modülün maksimum düzeyi, **Arbués-Sangüesa** tarafından geliştirilen "Pass Feasibility" (Pas Yapılabilirlik) modelidir.17

* **Mekanizma:** Bir oyuncunun bir noktaya ulaşma süresi (Time-to-Intercept), sadece o noktaya olan mesafesine değil, aynı zamanda **vücut oryantasyonuna** bağlıdır. Arkası dönük bir savunmacının dönüp koşması (Turn Cost), yüzü dönük olana göre +0.5-0.8 saniye kaybettirir.
* Formülizasyon:  
    
  $$T\_{varis} = \frac{Mesafe}{Hız} + \tau\_{donus}(\theta)$$  
    
  Burada $\tau\_{donus}$, oyuncunun hareket vektörü ile hedef vektör arasındaki açıya ($\theta$) bağlı, lineer olmayan bir maliyet fonksiyonudur.
* **Çıktı:** Sahanın her metrekaresi için bir "Kontrol Değeri" (0 ile 1 arası). Eğer savunmacı ters ayakla yakalanmışsa (Image 1'deki gibi), fiziksel olarak yakın olsa bile o alanın kontrol değeri düşer. Bu, "Görüş kaybı" gibi soyut bir terim yerine, "Pas Başarı Olasılığı: %85" gibi somut bir metrik üretir.

### 4.2 TacticAI: Geometrik Derin Öğrenme ile Geleceği Tahmin Etme

Google DeepMind'ın **TacticAI** mimarisi, bu sistemin "Neo" modülü olmalıdır.8

* **Veri Yapısı:** Maçın her karesi bir **Graf (Graph)** olarak temsil edilir.
  + **Düğümler (Nodes):** Oyuncular. Öznitelikler: Pozisyon $(x,y)$, Hız $(v\_x, v\_y)$, Oryantasyon $(\vec{o})$, Takım $(ID)$, Boy/Kilo.
  + **Kenarlar (Edges):** Oyuncular arası etkileşimler. Mesafe, birbirini marke etme durumu.
* **Mimari:** **Group Equivariant Convolutional Network (G-CNN)**. Bu mimari, sahanın simetrisini (sol kanat veya sağ kanat fark etmeksizin taktiksel desenin aynı olması) matematiksel olarak garanti eder. Bu, modelin çok daha az veriyle çok daha hızlı öğrenmesini sağlar.8
* **İşlev:**
  1. **Tahmin (Predictive):** "Bu köşe vuruşunda top kime gidecek?"
  2. **Üretken (Generative):** "Savunmacıların pozisyonunu nasıl değiştirirsem, gol yeme olasılığını en aza indiririm?" (Counterfactual Analysis).
* **Kullanıcı Sorusu:** "Diğer modülleri destekleyecek biçimde nasıl tasarlamalıyım?"
  + **Cevap:** TacticAI'yı merkezi bir "State Engine" (Durum Motoru) olarak tasarlayın. Algı motorundan gelen veriyi alır, Graf'a dönüştürür ve diğer modüllere (Görselleştirme, Metin) "Taktiksel Durum Vektörü" (Tactical State Embedding) gönderir. Bu vektör, oyunun matematiksel özüdür.

### 4.3 Hayalet Oyuncular (Ghosting)

Sistem, sadece olanı değil, *olması gerekeni* de göstermelidir.

* **Uygulama:** TacticAI'nın üretken yeteneğini kullanarak, pozisyon hatası yapan oyuncunun yanında yarı saydam bir "Hayalet" (Ghost) oluşturun.20 Bu hayalet, "Lig ortalamasına göre" veya "En iyi savunma prensiplerine göre" oyuncunun durması gereken yeri gösterir. Görüntü 4'teki "HATA: Side-on duruş kaybı" metnini, oyuncunun *doğru* duruşunu gösteren bir hayaletle desteklemek görsel anlatıyı devrimsel nitelikte güçlendirir.

## Bölüm 5: Modül III - Anlatı ve Görselleştirme Motoru (Ses)

"Neo" modülünün son ayağı, elde edilen karmaşık veriyi son kullanıcıya (teknik direktör, yayıncı, izleyici) aktarmaktır.

### 5.1 Yoğun Video Altyazılama (Dense Video Captioning - DVC)

Metin çıktısı, "Pas verildi" gibi basit olaylardan öteye geçmeli, taktiksel bir hikaye anlatmalıdır.

* **Model:** **Shot2Tactic-Caption**.22
* **Yöntem:** İki aşamalı bir dil modeli (LLM) kullanın.
  1. **Olay Düzeyi (Shot-Level):** Video özelliklerinden (ResNet/ViT) atomik eylemleri (pas, koşu, top kapma) tanır.
  2. **Taktik Düzeyi (Tactic-Level):** Bir dizi olayı ve TacticAI'dan gelen "Graf Durumunu" alarak stratejik bir cümle kurar.
* **Prompt Mühendisliği:** LLM'e (örn. Llama-3 veya GPT-4) sadece metin değil, yapılandırılmış taktiksel verileri "Prompt" olarak verin:
  + *Input:* ``
  + *Output:* "Oyuncu A, savunmanın hatalı pozisyon almasını fırsat bilerek B'ye attığı pasla rakip hattı deldi ve oyunun kontrolünü %40 artırdı."

### 5.2 Üretken UI ve Programatik Video (Remotion)

Görsellerin "yetersizliği", statik olmalarından kaynaklanır. Çözüm, **Programatik Video Üretimi**dir.

* **Teknoloji Yığını:**
  + **D3-soccer:** Web tabanlı, etkileşimli 2D taktik tahtaları oluşturmak için.24 Veri ile beslendiğinde, pas ağlarını ve ısı haritalarını milisaniyeler içinde çizer.
  + **Remotion:** React bileşenlerini MP4 videolarına dönüştüren bir kütüphane.25
* **Otomasyon Akışı:**
  1. Taktiksel Zeka Motoru, "İncelenmesi Gereken An"ı (örn. yüksek xG'li bir pozisyon) tespit eder.
  2. Bir Python scripti, bu anın başlangıç ve bitiş zamanlarını, oyuncu koordinatlarını ve "Hayalet" verilerini bir JSON dosyasına yazar.
  3. Remotion, bu JSON'ı okur. Yayındaki videoyu o saniyelerde keser. Üzerine D3-soccer ile oluşturulan dinamik, hareketli grafikleri (ısı haritaları, pas kanalları) bindirir (overlay).
  4. LLM tarafından üretilen anlatıyı alt yazı olarak ekler.
  5. Sonuç: İnsan eli değmeden üretilmiş, TV yayını kalitesinde, hareketli grafiklerle donatılmış 15 saniyelik bir analiz klibi.

## Bölüm 6: Uygulama Yol Haritası (Kodlanabilir Plan)

Bu sistemi hayata geçirmek için aşağıdaki 3 aşamalı geliştirme planını izleyin.

### Faz 1: Biyomekanik Temel (1-4. Ay)

**Hedef:** Sahadaki "Gerçeği" (Ground Truth) 3D olarak elde etmek.

1. **Veri Hazırlığı:** SoccerNet ve WorldPose veri setlerini indirin.
2. **3D Poz Modeli:** KASportsFormer mimarisini PyTorch'ta implemente edin. Kemik uzunluğu tutarlılık kaybını (Bone Length Consistency Loss) entegre ederek uzuvların titremesini engelleyin.10
3. **Kamera Kalibrasyonu:** TVCalib modülünü kurun. Saha çizgilerini semantik segmentasyonla (örn. DeepLabV3) tespit edip, kamera parametrelerini optimize eden diferansiyellenebilir döngüyü yazın.16
4. **Kafa Takibi:** Sentetik kafa verileriyle eğitilmiş basit bir CNN ile oyuncuların bakış yönü vektörlerini $(\vec{g})$ çıkarın.

### Faz 2: Taktiksel Beyin (5-8. Ay)

**Hedef:** Veriyi Zekaya Dönüştürmek.

1. **Graf Oluşturma:** Her kare için oyuncuları ve topu düğüm (node) olarak alan PyTorch Geometric tabanlı bir veri yapısı kurun.
2. **TacticAI Entegrasyonu:** DeepMind'ın GNN mimarisini uyarlayın. Modeli, "bir sonraki pası kim alacak?" görevinde eğitin. Bu, modelin oyunun akışını "anlamasını" sağlar.8
3. **Oryantasyon Modeli:** Arbués-Sangüesa'nın formüllerini 17 Python'da NumPy ile kodlayın. Oyuncuların 3D oryantasyonlarını kullanarak dinamik "Saha Kontrol Matrisleri" (Pitch Control Matrices) hesaplayın.

### Faz 3: "Neo" Entegrasyonu ve Anlatı (9-12. Ay)

**Hedef:** Ürünü Ortaya Çıkarmak.

1. **DVC Modeli:** Video özellikleri ve GNN çıktılarını (Graph Embeddings) birleştiren bir "Multimodal Transformer" eğitin. Çıktı olarak taktiksel cümleler üretmesini sağlayın.22
2. **Remotion Pipeline:** Analiz çıktılarını (JSON) alıp, otomatik olarak video render eden React/Remotion şablonları hazırlayın. Görsellerde gördüğünüz statik koniler yerine, oyuncuyla birlikte hareket eden, şeffaf, "nefes alan" poligonlar (D3.js) kullanın.
3. **Arayüz:** Tüm bunları birleştiren, kullanıcıya "Neden?" sorusunu sorma imkanı veren (örn. "Neden pas vermedi?" sorusuna görsel ve metinle cevap veren) bir sohbet botu arayüzü ekleyin.

## 7. Sonuç: "Bilim Şaheseri"ne Doğru

Önerilen bu sistem, kullanıcının "yetersiz" bulduğu mevcut yapıyı, **Boyutsal Derinlik** (2D $\rightarrow$ 3D), **Bilişsel Derinlik** (Konum $\rightarrow$ Affordance) ve **Anlatısal Derinlik** (İstatistik $\rightarrow$ Hikaye) eksenlerinde genişleterek bir "Neo Modülü"ne dönüştürecektir.

Sistem artık sadece "Oyuncu X burada duruyor" demeyecek; "Oyuncu X, kalçası 30 derece dışa dönük, kör noktasını saniyede 0.8 kez tarıyor ve arkasındaki 15 metrekarelik alanı domine ederek rakibin pas kanalını bloke ediyor" diyecektir. Bu, sadece bir analiz değil, futbolun dijital ikizidir (Digital Twin). Bu yol haritası, video analiz aleminin "Her Şeyin Teorisi"ni (The Theory of Everything) oluşturmak için gereken bilimsel ve teknik iskelettir.

### Tablo 1: Önerilen Teknoloji Yığını ve Referanslar

| **Modül** | **Bileşen** | **Önerilen Mimari / Kütüphane** | **Temel Referans** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Algı (Perception)** | 3D İnsan Pozu | **KASportsFormer** (Anatomik Kısıtlı Transformer) | 10 |
| **Algı** | Kamera Kalibrasyonu | **TVCalib** (Diferansiyellenebilir Render) | 16 |
| **Algı** | Kafa/Bakış (Scanning) | **Sentetik Veri + Random Forest / CNN** | 14 |
| **Taktik (Intelligence)** | Saha Kontrolü | **Oryantasyon Duyarlı Model** (Arbués-Sangüesa) | 17 |
| **Taktik** | Desen/Tahmin | **TacticAI** (Geometrik Derin Öğrenme - GNN) | 8 |
| **Anlatı (Narrative)** | Altyazı/Yorum | **Shot2Tactic-Caption** (Görsel Encoder + LLM) | 22 |
| **Görselleştirme** | 2D Render | **d3-soccer** (JavaScript/D3.js) | 24 |
| **Görselleştirme** | Video Üretimi | **Remotion** (React tabanlı Programatik Video) | 25 |

#### Alıntılanan çalışmalar

1. SATPose: Improving Monocular 3D Pose Estimation with Spatial-aware Ground Tactility - -ORCA - Cardiff University, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/170912/1/MM2024_SATPose_CameraReady.pdf>
2. Geir JORDET | Professor | PhD | Norwegian School of Sport Sciences, Oslo | Department of Coaching and Psychology | Research profile - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.researchgate.net/profile/Geir-Jordet>
3. Scanning, Contextual Factors, and Association With Performance in English Premier League Footballers: An Investigation Across a Season - Frontiers, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2020.553813/full>
4. How to Use Generative AI in Sports to Turn Data into Victory? - ProjectPro, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.projectpro.io/podcast/title/generative-ai-in-sports>
5. Redefining Affordance via Computational Rationality - arXiv, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://arxiv.org/html/2501.09233v3>
6. Redalyc.An Affordance Based Approach to Decision Making in Sport: Discussing a Novel Methodological Framework, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.redalyc.org/pdf/2351/235122167029.pdf>
7. A Graph Neural Network deep-dive into successful counterattacks - arXiv, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://arxiv.org/html/2411.17450v2>
8. TacticAI: an AI assistant for football tactics - PMC - PubMed Central - NIH, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10951310/>
9. (PDF) TacticAI: an AI assistant for football tactics - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/379081056_TacticAI_an_AI_assistant_for_football_tactics>
10. KASportsFormer: Kinematic Anatomy Enhanced Transformer for 3D Human Pose Estimation on Short Sports Scene Video | Request PDF - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/396940781_KASportsFormer_Kinematic_Anatomy_Enhanced_Transformer_for_3D_Human_Pose_Estimation_on_Short_Sports_Scene_Video>
11. KASportsFormer: Kinematic Anatomy Enhanced Transformer for 3D Human Pose Estimation on Short Sports Scene Video - ChatPaper, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://chatpaper.com/paper/171074>
12. WorldPose: A World Cup Dataset for Global 3D Human Pose Estimation - arXiv, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://arxiv.org/html/2501.02771v1>
13. WorldPose: A World Cup Dataset for Global 3D Human Pose Estimation - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/387767773_WorldPose_A_World_Cup_Dataset_for_Global_3D_Human_Pose_Estimation>
14. Real-time Head Pose Estimation in Low-resolution ... - DiVA portal, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:702207/FULLTEXT01.pdf>
15. Body Pose Estimation Integrated With Notational Analysis: A New Approach to Analyze Penalty Kicks Strategy in Elite Football - NIH, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8964455/>
16. TVCalib - GitHub Pages, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://mm4spa.github.io/tvcalib/>
17. Using Player's Body-Orientation to Model Pass Feasibility in Soccer - CVF Open Access, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://openaccess.thecvf.com/content_CVPRW_2020/papers/w53/Arbues-Sanguesa_Using_Players_Body-Orientation_to_Model_Pass_Feasibility_in_Soccer_CVPRW_2020_paper.pdf>
18. Using Player's Body-Orientation to Model Pass Feasibility in Soccer - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/343271188_Using_Player's_Body-Orientation_to_Model_Pass_Feasibility_in_Soccer>
19. TacticAI: an AI assistant for football tactics - Google DeepMind, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://deepmind.google/blog/tacticai-ai-assistant-for-football-tactics/>
20. Data-Driven Ghosting using Deep Imitation ... - Disney Research, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://la.disneyresearch.com/wp-content/uploads/Data-Driven-Ghosting-using-Deep-Imitation-Learning-Paper1.pdf>
21. Data-Driven Ghosting using Deep Imitation Learning - Caltech Authors, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://authors.library.caltech.edu/records/74xh3-ysx85>
22. SoccerNet-Caption: Dense Video Captioning for Soccer Broadcasts Commentaries | Request PDF - ResearchGate, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.researchgate.net/publication/373128020_SoccerNet-Caption_Dense_Video_Captioning_for_Soccer_Broadcasts_Commentaries>
23. MatchTime: Towards Automatic Soccer Game Commentary Generation - ACL Anthology, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://aclanthology.org/2024.emnlp-main.99.pdf>
24. probberechts/d3-soccer: ⚽️ A D3 plugin for visualizing ... - GitHub, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://github.com/probberechts/d3-soccer>
25. Remotion Recorder | Remotion | Make videos programmatically, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.remotion.dev/docs/recorder>
26. Full article: Testing the validity of 360-video for analysing visual exploratory activity in soccer, erişim tarihi Ocak 16, 2026, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640414.2025.2580838>