

جامعة محمد الصديق بن يحي

كلية العلوم الإنسانية والإجتماعية

قسم علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية

مقياس

تطبيقات الذكاء الاصطناعي في المجال الرياضي

أستاذ المقياس: د/ عيسات كمال

المستوى: السنة الأولى ماستر تخصص تحضير بدني رياضي

السداسي: الثاني

السنة الجامعية : 2025 / 2026

مدخل إلى عالم الذكاء الاصطناعي

1- التطور التاريخي والتعريفات

1. تعريف الذكاء الاصطناعي (Defining AI)

الذكاء الاصطناعي ليس مجرد "برنامج حاسوبي قوي"، بل هو محاكاة سيرانية للوظائف المعرفية البشرية.

- **التعريف الإجرائي:** هو قدرة الآلة على تفسير البيانات الخارجية بشكل صحيح، والتعلم من هذه البيانات، واستخدام تلك الاستنتاجات لتحقيق أهداف ومهام محددة من خلال التكيف المرن.

• المفاهيم المحورية في التعريف:

- **التعلم (Learning):** اكتساب القواعد والمعلومات لاستخدامها.
- **الاستنتاج (Reasoning):** استخدام القواعد للوصول إلى نتائج تقريبية أو محددة.
- **التصحيح الذاتي (Self-Correction):** تطوير الأداء تلقائياً بناءً على النتائج السابقة.

2- التطور التاريخي للذكاء الاصطناعي: رحلة التحول من المنطق إلى التعلم

أولاً: مرحلة الإرهاصات والتأسيس (1943 - 1955)

- **الجنود الرياضية:** بدأت الفكرة قبل تورينج، حين قدم "وارين ماكولوتش" و"والتر بيتس (1943)" أول نموذج رياضي للخلية العصبية، موضحين أن العمليات المنطقية يمكن تمثيلها عبر شبكة عصبية بسيطة.
- **ألان تورينج وفلسفة المحاكاة:** (1950) نشر تورينج ورقة بحثية بعنوان "آلات الحوسبة والذكاء"، واقترح "لعبة التقليد (The Imitation Game)".

- **العمق العلمي:** اختبار تورينج لم يهدف لقياس قدرة الآلة على "التفكير" بالمعنى البيولوجي، بل لقياس قدرتها على "محاكاة" الأداء البشري. إذا لم يستطع المحاور البشري التمييز بين ردود الآلة وردود الإنسان، تُعتبر الآلة "ذكية".
- **تطبيق رياضي قديم:** أولى المحاولات كانت لبرمجة آلات تلعب الشطرنج، ليس من أجل اللعبة ذاتها، بل لاختبار قدرة الآلة على التخطيط الاستراتيجي.

ثانياً: ولادة المسمى وعصر "الذكاء الرمزي" (1956 - 1974)

- مؤتمر دارتموث (1956) اجتمع علماء مثل "جون مكارثي" و"مارفن مينسكي"، وهنا وُلد مصطلح "Artificial Intelligence".
- **الذكاء الرمزي (Symbolic AI):** اعتمدت هذه المرحلة على فكرة أن الذكاء هو عملية تلاعب بالرموز (الكلمات، الأرقام) بناءً على قواعد منطقية صارمة.
- **المنطق الصوري:** كان العلماء يعتقدون أنه إذا قمنا بتغذية الحاسوب بكل قواعد المنطق البشري (If-Then)، سيصبح ذكياً.
- أمثلة تلك الفترة: تطوير "المحلل العام للمشكلات (GPS)" وبرامج لحل المبرهنات الهندسية. كانت هذه الأنظمة تفتقر للحس العام وتفشل أمام أي بيانات لم تُبرمج عليها مسبقاً.

ثالثاً: "شتاء الذكاء الاصطناعي" ونهضة النظم الخبيرة (1974 - 1990)

- **فجوة التوقعات:** فشلت الأنظمة في ترجمة اللغات أو فهم الكلام البشري البسيط، مما أدى لانسحاب المستثمرين والحكومات (خاصة بريطانيا وأمريكا).
- **النظم الخبيرة (Expert Systems):** في الثمانينات، حدث انتعاش مؤقت عبر بناء أنظمة متخصصة جداً (مثلاً: نظام يشخص الأمراض بناءً على أعراض معينة).

- المشكلة: كانت هذه الأنظمة مكلفة جداً، وتنهار بمجرد مواجهة حالة خارج "كتيب القواعد" الخاص بها.

- في الرياضة: بدأت تظهر برامج إحصائية بدائية جداً تقوم بتصنيف أنواع الإصابات، لكنها كانت جامدة لا تتنبأ بشيء.

رابعاً: عصر تعلم الآلة والانتصار على البشر (1990 - 2010)

- تغير الفلسفة: بدلاً من إعطاء الآلة "قواعد"، بدأ العلماء في إعطائها "بيانات". ظهر مصطلح تعلم الآلة (Machine Learning) بقوة.

- المحطات الكبرى:

1997: تغلب الحاسوب Deep Blue من IBM على بطل العالم في الشطرنج "غاري كاسباروف". كان هذا انتصاراً لقوة المعالجة والبحث السريع في الاحتمالات.

- البيانات الضخمة: بدأ انتشار الإنترنت يوفر كميات هائلة من البيانات، مما سمح للخوارزميات بالتدرب بشكل أفضل.

خامساً: ثورة التعلم العميق والذكاء التوليدي (2010 - الآن)

- التعلم العميق (Deep Learning): سمح تطور "بطاقات الرسومات (GPUs)" للعلماء ببناء شبكات عصبية ذات طبقات متعددة (Deep Neural Networks). هذه الشبكات تحاكي القشرة المخية للإنسان.

- ثورة الرؤية الحاسوبية: في عام 2012، حققت خوارزميات التعلم العميق قفزة كبيرة في التعرف على الصور (مسابقة ImageNet). هذا هو الأساس الذي تعتمد عليه أنظمة "تتبع اللاعبين".

- الذكاء التوليدي (Generative AI) ظهرت نماذج مثل ChatGPT و Gemini هذه النماذج لا تكتفي بالتحليل. إنها قادرة على توليد نصوص وصور وخطط تدريبية مبتكرة بناءً على طلب المستخدم.

3- ربط التطور التاريخي بالمجال الرياضي:

1. في الخمسينات: كان الهدف هو جعل الحاسوب يلعب الشطرنج.
2. في الثمانينات: كان الهدف هو جعل الحاسوب يسجل إحصائيات المباراة.
3. في التسعينات: بدأ الحاسوب في اقتراح تغييرات تكتيكية بسيطة.
4. اليوم: يتنبأ الذكاء الاصطناعي بالإصابات قبل وقوعها بأسابيع. كما يحلل مشاعر الجماهير في المدرجات. ويصمم برامج غذائية مخصصة للحمض النووي (DNA) لكل لاعب.

4- شرح المفاهيم الذكاء الاصطناعي مقارنة بالبرمجة التقليدية:

وجه المقارنة	الذكاء الاصطناعي (AI)	البرمجة التقليدية (Traditional)
1 المدخلات	بيانات + نتائج مرغوبة	بيانات + خوارزمية (قواعد ثابتة)
2 المخرجات	"نموذج" أو خوارزمية تتعلم الحل	نتائج محددة مسبقاً
3 المرونة	مرنة (تتعامل مع أنماط جديدة وغير مألوفة)	جامدة (لا تتعامل مع بيانات لم تُبرمج لها)

5- أمثلة تطبيقية من الواقع الرياضي

1. المثال التقليدي (Logic-based): برنامج رياضي بسيط يقوم بحساب "مؤشر كتلة الجسم (BMI) "للاعب. هو لا "يفكر"، بل يطبق معادلة رياضية ثابتة (الوزن/الطول²) ولا يتغير بتغير الظروف.

2. مثال الذكاء الاصطناعي (Learning-based) نظام (AlphaGo) الذي طورته DeepMind هذا النظام لم يُلقن كل الاحتمالات (لأنها تفوق عدد الذرات في الكون)، بل تعلم من خلال لعب ملايين المباريات ضد نفسه، مطوراً استراتيجيات لم يتوقعها المبرمجون أنفسهم.

3. في التدريب: بدلاً من وضع جدول تدريبي ثابت لكل اللاعبين (برمجة تقليدية)، يستخدم المدربون أنظمة AI تحلل "معدل ضربات القلب، جودة النوم، والجهد المبذول" لتقترح جدولاً متغيراً يومياً لكل لاعب لتجنب الإصابة.

6- خصائص وأهداف الذكاء الاصطناعي

6-1- خصائص الذكاء الاصطناعي (Key Characteristics)

ما الذي يجعل النظام "ذكياً"؟ هناك ثلاث خصائص مركزية تفصل بينه وبين البرمجيات التقليدية:

• أ- التعلم الذاتي والتحسين المستمر: (Self-learning & Evolution)

قدرة النظام على تطوير خوارزمياته دون تدخل بشري مباشر. فبمجرد تغذيته بالبيانات، يبحث عن الأنماط ويعدل معاييرها.

- مثال رياضي: نظام تحليل الفيديو الذي يتعرف على "رمية التماس". في البداية قد يخطئ، لكن مع مشاهدة آلاف الحالات، يطور دقة تصل إلى 99% تلقائياً.

• ب- التكيف مع البيانات الديناميكية: (Adaptability)

البرمجيات التقليدية تنهار عند تغيير مدخلاتها. أما الذكاء الاصطناعي فيتسم بالمرونة؛ حيث يمكنه التعامل مع بيانات "غير مهيكلة" (مثل صور وفيديوهات وملاحظات نصية) والتكيف مع الظروف المتغيرة.

- مثال رياضي: نظام يتنبأ بنتيجة مباراة بناءً على أداء اللاعبين. إذا أصيب نجم الفريق فجأة، يقوم النظام فوراً بإعادة حساب الاحتمالات بناءً على المعطى الجديد (التكيف اللحظي).

• ج- المعالجة الفائقة للبيانات الضخمة: (High-Speed Big Data Processing)

قدرة العقل البشري محدودة في معالجة مئات المتغيرات في وقت واحد. الذكاء الاصطناعي يمكنه تحليل آلاف الساعات من الفيديو وبيانات GPS لـ 22 لاعباً في أجزاء من الثانية.

- مثال رياضي: في سباقات "فورمولا 1"، تعالج أنظمة AI ملايين البيانات القادمة من مستشعرات السيارة لتحديد اللحظة الأنسب لتغيير الإطارات.

2-6- أهداف الذكاء الاصطناعي (Primary Objectives)

لماذا نستثمر في الذكاء الاصطناعي؟ تتركز الأهداف في ثلاثة محاور:

• أ- محاكاة القدرات المعرفية البشرية:

الهدف ليس استبدال الإنسان، بل تزويده بـ "عقل إضافي". يهدف AI إلى محاكاة (الإدراك البصري، فهم اللغة، التخطيط الاستراتيجي).

التطبيق: نظام AI يعمل كـ "كشاف مواهب (Scout) رقمي"، يرى في اللاعبين ما قد تغفله العين البشرية المجردة.

• ب- أتمتة المهام المعقدة: (Automating Complex Tasks)

الأتمتة التقليدية تقوم بمهام متكررة (مثل تسجيل الحضور). الأتمتة الذكية تقوم بمهام تتطلب حكماً (مثل تقييم جودة الأداء الفني للاعب الجمباز).

التطبيق: قص فيديوهات الأهداف واللقطات الهامة (Highlights) تلقائياً فور انتهاء المباراة دون تدخل مونتير بشري.

• ج- تعزيز دقة اتخاذ القرار: (Enhanced Decision Making)

- تقليل نسبة "الحدس" (Intuition) "وزيادة نسبة" الدليل. (Evidence) "الهدف هو الوصول لقرار مبني على تحليل إحصائي عميق وتنبؤات دقيقة.
- التطبيق: مساعدة المدرب في اتخاذ قرار التبديل بناءً على "مستوى الإجهاد التنبؤي" للاعب، وليس فقط ملامح وجهه.

- أمثلة تطبيقية من الواقع

1. في التدريب الشخصي: تطبيقات الذكاء الاصطناعي مثل ZWIFT في الدراجات (التي تضع "أهدافاً متغيرة" للاعب. إذا كان أداء اللاعب اليوم ضعيفاً، يقوم النظام فوراً بخفض شدة التمرين (خاصية التكيف).
2. في التحكم: تقنية "نصف آلية" لكشف التسلل. (SAOT) الهدف هنا هو السرعة والدقة؛ حيث يتم معالجة موقع 29 نقطة على جسم كل لاعب 50 مرة في الثانية (معالجة فائقة).

دراسة حالة مقارنة :

السيناريو: فريق يريد شراء لاعب جديد.

- الطريقة التقليدية: الاعتماد على رأي الكشافين، ومشاهدة بعض الفيديوهات، والاطلاع على عدد الأهداف. (نسبة الخطأ عالية).
- طريقة الذكاء الاصطناعي: استخدام خوارزميات "اكتشاف الأنماط" لمقارنة بروفایل اللاعب مع آلاف اللاعبين الآخرين، والتنبؤ بمدى انسجامه مع "فلسفة المدرب" الحالية. (هدف: تعزيز دقة القرار).

7- أنواع ونظم الذكاء الاصطناعي:

7-1- الذكاء الاصطناعي الضيق (Narrow AI / Weak AI) : هو النوع الوحيد الموجود حالياً على أرض الواقع. يُصمم لتنفيذ مهمة محددة جداً وبكفاءة قد تفوق البشر في تلك المهمة فقط.

- الخصائص: لا يمتلك وعياً، ولا يستطيع نقل خبرته من مجال لمجال آخر.
- مثال رياضي: نظام التعرف على الوجوه في بوابات الملاعب الأمنية؛ هو ذكي جداً في مطابقة الوجوه، لكنه لا يستطيع تحليل خطة مباراة.

7-2- الذكاء الاصطناعي العام (General AI / Strong AI)

نظام (نظري حالياً) يمتلك قدرات إدراكية بشرية شاملة، مما يسمح له بتعلم أي مهمة ذهنية يقوم بها الإنسان.

- القدرات المتوقعة: القدرة على التخطيط، الابتكار، والتعلم الذاتي عبر مختلف المجالات دون إعادة برمجة.
- الواقع الرياضي: لا يوجد مدرب "آلي" عام حتى الآن يمكنه إدارة فريق، التعامل مع نفسيات اللاعبين، وتصميم خطط تكتيكية في آن واحد بمستوى بشري كامل.

7-3- نظم الخبرة (Expert Systems)

برامج تحاكي عملية اتخاذ القرار لدى الخبراء البشريين في مجال ضيق جداً عبر قاعدة بيانات ضخمة من قواعد (إذا.. فإن).

- المكونات: تتكون من "قاعدة معرفة" (بيانات الخبراء) و"محرك استدلال" (يطبق القواعد للوصول لنتيجة).

- مثال رياضي: نظام لتشخيص الإصابات الرياضية؛ يُدخل الطبيب الأعراض، فيقارنها النظام بآلاف الحالات السابقة المخزنة ليعطي تشخيصاً مقترحاً (مثل نظام IBM Watson).

8- القوة التحليلية والأبعاد الأخلاقية

1-8- مجالات الذكاء الاصطناعي وأدواته:

1-1-8- التعلم الآلي (Machine Learning - ML)

- المفهوم: هو العلم الذي يسمح للحواسب بالتعلم دون أن تُبرمج بشكل صريح لكل خطوة. يعتمد على إيجاد "أنماط" في البيانات التاريخية للتنبؤ بالمستقبل.

- أنواعه في الرياضة:

- التعلم بإشراف: تزويد النظام ببيانات سابقة (مثلاً: بيانات لاعبين أصيبوا سابقاً) ليتعلم التنبؤ بإصابات اللاعبين الحاليين.
- التعلم غير المشرف: ترك النظام يكتشف "مجموعات" من اللاعبين المتشابهين في الأداء دون توجيه مسبق (Clustering).

2-1-8- الرؤية الحاسوبية (Computer Vision)

- المفهوم: مجال فرعي يهدف لتزويد الآلات بالقدرة على "رؤية" الأشياء وفهم محتوى الصور والفيديوهات كما يفعل البشر.
- التقنيات المستخدمة: التعرف على الأجسام (Object Detection)، تتبع المسار (Tracking)، وتقدير وضعية الجسم (Pose Estimation).

دراسة حالة تطبيقية (تحديد التسلل التلقائي)

- المشكلة: التسلل قرار بشري صعب يتطلب دقة زمنية ومكانية فائقة (متى خرجت الكرة؟ وأين كان المدافع؟).
- الحل عبر الذكاء الاصطناعي:
 1. الرؤية الحاسوبية: كاميرات موزعة في الملعب تتبع 29 نقطة على جسم كل لاعب 50 مرة في الثانية (لتحويل اللاعبين إلى هياكل عظمية رقمية).
 2. دمج البيانات: نظام ML يدمج بيانات الكاميرات مع مستشعر داخل الكرة يرسل بياناته 500 مرة في الثانية لتحديد لحظة "الركلة" بدقة متناهية.
 3. النتيجة: تنبيه آلي لغرفة الفار (VAR) في ثوانٍ معدودة، مما يقلل الخطأ البشري والوقت الضائع.

9- الإيجابيات، السلبيات، والآثار الأخلاقية:

1-9- الإيجابيات: (The Advantages)

- الدقة المتناهية: تقليل الخطأ البشري في اتخاذ القرارات المصيرية (مثل التحكيم).
- التحليل الشامل: القدرة على مراقبة اللاعب 24/7 (النوم، التغذية، الحالة النفسية) وهو ما يعجز عنه المدرب البشري.
- توفير الوقت: أتمتة المهام الروتينية مثل استخراج الإحصائيات، مما يفرغ المدرب للجانب التربوي والتكتيكي.

2-9- السلبيات والتحديات: (The Disadvantages)

- التكلفة الباهظة: تتطلب أنظمة AI بنية تحتية قوية (خوادم، مستشعرات) وفريقاً من علماء البيانات، مما يخلق فجوة بين الأندية الغنية والفقيرة.

- مخاوف الخصوصية: جمع بيانات بيولوجية وحيوية حساسة عن اللاعبين يطرح تساؤلات: من يملك هذه البيانات؟ وهل يمكن استخدامها ضد اللاعب في مفاوضات تجديده؟

- التحيز الخوارزمي: (Algorithmic Bias) إذا تدرب النظام على بيانات لاعبين من عرق معين أو بأسلوب لعب معين، قد "يتحيز" ضد مواهب أخرى لا تشبه تلك البيانات.

10- تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الرياضة

1-10 أنظمة التقاط الحركة (Motion Capture - MoCap)

1- تقنيات التقاط الحركة:

- مستشعرات القصور الذاتي: (IMUs) قطع صغيرة تلبس على المفاصل تحتوي على (مقياس تسارع، جيروسكوب، ومقياس مغناطيسي). تقوم بإرسال بيانات الزوايا والسرعة اللحظية دون الحاجة لكاميرات.

- الأنظمة البصرية: (Optical Systems) تعتمد على كاميرات عالية السرعة (High-speed cameras) تتبع "علامات" (Markers) "توضع على جسم اللاعب، أو تستخدم الذكاء الاصطناعي لتتبع المفاصل بدون علامات. (Markerless MoCap)

2- التحليل الميكانيكي الحيوي الذكي:

- الذكاء الاصطناعي لا يلتقط الحركة فقط، بل يقارنها بـ "النموذج المثالي". يقوم النظام بتحليل (زوايا المفاصل، مركز الثقل، القوة الانفجارية).

10-2 التطبيق العملي (تحليل زاوية التسديد في كرة السلة)

- السيناريو: لاعب كرة سلة يعاني من انخفاض نسبة تسجيل الرميات الثلاثية.
- الإجراء التقني:

- 1- يتم تصوير اللاعب بكاميرات AI تتبع 21 نقطة ارتكاز في جسمه.
- 2- يقوم النظام بتحليل "زاوية إطلاق الكرة" مثلاً: وجد أنها 42 درجة بينما المثالية هي 45-48 °
- 3- يقيس النظام "ثبات الكاحل" و "سرعة مد الذراع".

• النتيجة: يقدم النظام تقريراً للمدرب يوضح أن المشكلة ليست في قوة اليد، بل في توقيت قفزة القدمين، مما يوفر "تصحيحاً ميكانيكياً" دقيقاً جداً.

مثال إضافي (تجنب الإصابات): عبر "التقاط الحركة"، يمكن اكتشاف "ميلان الركبة" للداخل (Valgus) أثناء القفز، وهو مؤشر قوي لاحتمالية قطع الرباط الصليبي، مما يسمح للمعد البدني بوضع تمارين تقوية وقائية فوراً.

11- أدوات التحليل الذكي للبيانات (Smart Data Analytics)

1-11 معالجة البيانات الضخمة: (Big Data Processing)

- المصدر: يتم جمع ملايين النقاط من البيانات في كل حصة تدريبية عبر قمصان GPS مثل نظام Catapult أو (STATSports). تشمل هذه البيانات: السرعة، التسارع، التباطؤ، المسافة المقطوعة، ومعدل ضربات القلب.

- دور الذكاء الاصطناعي: الخوارزميات تعمل على "تنظيف" هذه البيانات وربطها ببعضها لاكتشاف علاقات خفية (مثلاً: العلاقة بين قلة النوم وزيادة معدل ضربات القلب عند الجري بسرعة 20 كم/ساعة).

2-11 مفهوم الحمل التدريبي: (Workload)

- الحمل الخارجي: ما قام به اللاعب فعلياً (مسافات، سرعات).

- الحمل الداخلي :استجابة جسم اللاعب الحيوية لهذا المجهود (معدل النبض، نسبة اللاكتيك).

- النسبة الحرجة : (ACWR) يستخدم الذكاء الاصطناعي خوارزميات لحساب نسبة "الحمل الحاد" (أداء الأسبوع الحالي) إلى "الحمل المزمّن" (متوسط أداء الشهر الماضي). إذا تجاوزت النسبة حداً معيناً، يعطي النظام "إنذاراً بالخطر".

3-11- التطبيق (التنبؤ بالإصابات قبل وقوعها)

- الدراسة: بدلاً من انتظار شعور اللاعب بالألم، يحلل النظام أنماط "التباطؤ" (Deceleration) إذا وجد النظام أن قدرة اللاعب على التوقف المفاجئ انخفضت بنسبة 15% عن معدله الطبيعي، فهذا يعني وجود "إجهاد عضلي غير مرئي".
- النتيجة: يوصي النظام المدرب بإراحة اللاعب في المباراة القادمة أو خفض شدة تدريباته بنسبة 30% لتجنب تمزق العضلات.

12- اكتشاف الأنماط والاتجاهات (Pattern Recognition)

12-1- خوارزميات التعرف على الأنماط:

-تعتمد على "التعلم العميق" لتحليل تسلسل الأحداث. في كرة القدم أو التنس، لا يهتم النظام بلقطة واحدة، بل بـ "سلسلة من التحركات" التي تسبق التسجيل أو الخطأ.

-التعرف على الاتجاهات : (Trend Detection) هل يميل الفريق الخصم للهجوم من جهة اليمين في آخر 15 دقيقة من المباراة؟ الذكاء الاصطناعي يستخرج هذه المعلومة من بين آلاف التمريرات.

2-12- التحليل التكتيكي الذكي:

- يتم تقسيم الملعب إلى مناطق رقمية، ويقوم النظام بمراقبة "كثافة اللاعبين" وتوزيعهم المسافي (Spatial Analysis).

مثال تطبيقي (تحليل أسلوب لاعب التنس)

- الحالة: مواجهة بين اللاعب (أ) واللاعب (ب).

- التحليل الذكي: يقوم النظام بتحليل آخر 50 مباراة للاعب (ب). يكتشف نمطاً (Pattern) يقول: "عندما يتلقى اللاعب (ب) كرة قوية على جانبه الأيمن وهو متراجع للخلف، فإنه يختار ضربة (Cross-court) بنسبة 85%".

- التقرير الذكي: يتلقى المدرب واللاعب (أ) تقريراً قبل المباراة يحدد نقاط الضعف: "اضغط على جهة اليمين، وتوقع الكرة في منتصف الملعب المتقاطع". هذا يحول التحليل من "وصف ما حدث" إلى "توقع ما سيحدث".

3-12- تطبيق في الألعاب الجماعية (كرة السلة)

- اكتشاف أنماط "Pick and Roll"؛ أي ثنائي من الخصم هو الأكثر فاعلية؟ وكيف يتغير أدائهم عندما يقل الوقت عن 24 ثانية؟ النظام يقدم هذه الإجابات في تقارير بصرية سهلة الفهم. (Heat Maps)

13- الذكاء الاصطناعي في التحكيم والإدارة

1-13- أنظمة التحكيم الذكية: (Smart Officiating)

- تكنولوجيا خط المرمى: (Goal-Line Technology) تعتمد على مزيج من "الرؤية الحاسوبية" و"المجالات المغناطيسية". تقوم كاميرات عالية السرعة بتحديد موقع الكرة بدقة مليمترية، ويرسل النظام إشارة فورية لساعة الحكم خلال أقل من ثانية.

-نظام عين الصقر (Hawk-Eye) يستخدم خوارزميات "تثليث المسار (Triangulation)" عبر 12-10 كاميرا عالية الدقة لحساب المسار المرجح للكرة ومكان ارتطامها بالملعب، مع نسبة خطأ لا تتعدى 3.6 ملم.

13-2- الإدارة والعمليات الذكية: (Smart Management)

- إدارة مبيعات التذاكر: (Dynamic Pricing) تستخدم الأندية خوارزميات "التعلم الآلي" لتغيير أسعار التذاكر ديناميكياً بناءً على (قوة الخصم، حالة الطقس، نتائج الفريق الأخيرة) لضمان أقصى إشغال للملعب وأعلى ربح.

- إدارة الحشود: استخدام الكاميرات الذكية لتحليل تدفق المشجعين وتوقع مناطق الازدحام لتوجيه المنظمين وتأمين الملاعب.

13-3- التطبيق العملي: مثال: في التنس، لم يعد الحكم هو المسؤول الوحيد عن قرار "داخل أو خارج" في الملاعب الكبرى. الذكاء الاصطناعي هنا لا يلغي دور الحكم، بل يزيل "الشك البشري"، مما يقلل من الاعتراضات والتوتر النفسي للاعبين.

14- الرؤية الحاسوبية والتحليل التكتيكي المتقدم:

14-1- خوارزميات تتبع اللاعبين: (Markerless Tracking)

1 - المفهوم: قديماً، كان لابد للاعب من ارتداء مستشعر. اليوم، تستخدم خوارزميات (Deep Learning) مثل YOLO (You Only Look Once) لتحديد هوية اللاعب ورقمه من خلال شكل جسمه وحركته.

2- تتبع النقاط المفصلية: النظام يحدد 18 إلى 25 نقطة على جسم اللاعب (الركبة، الكتف، المرفق) ويراقبها في كل إطار فيديو (Frame)، مما يسمح بحساب سرعة الركض وزاوية الانطلاق دون أي تلامس مع اللاعب.

14-2- التحليل التكتيكي الفراغي: (Spatial Analysis)

- السيطرة على المساحة: (Pitch Control) يقوم الذكاء الاصطناعي برسم خرائط توضح المناطق التي يسيطر عليها كل فريق بناءً على موقع اللاعبين وسرعتهم.
- الكتلة الفريقية: (Team Centroid) حساب "المركز الهندسي" للفريق لمراقبة مدى تلاحم الخطوط (هل هناك فجوة كبيرة بين الدفاع والوسط؟).
- الجانب التطبيقي (التحليل عبر البث التلفزيوني)

• الآلية:

1. المعالجة: يتم تغذية النظام بفيديو المباراة.
 2. الاستخراج: تقوم الخوارزمية بتحويل صور اللاعبين إلى "نقاط بيانات" على خريطة ثنائية الأبعاد. (2D Pitch)
 3. الاستنتاج: يحسب النظام فوراً المسافات بين المدافعين. إذا زادت المسافة عن حد معين، يضع النظام "علامة حمراء" للمدرب تشير إلى ثغرة تكتيكية.
- الميزة الكبرى: هذه التقنية تسمح للأندية بتحليل أداء "الخصوم" بنفس الدقة التي يحللون بها أداء فريقهم، رغم أنهم لا يملكون بيانات GPS الخاصة بالخصم.

14-3- دراسة حالة (تحليل الضغط العالي High Press -)

- يستخدم المحللون AI لقياس "وقت استعادة الكرة". (PPDA) "النظام يراقب آلياً عدد التمريرات التي يسمح بها الفريق للخصم قبل أن يبدأ بالتدخل، مما يعطي المدرب مؤشراً دقيقاً على نجاح استراتيجية الضغط العالي من عدمها.

15- مختبر الأدوات التقنية (The Tech Stack)

15-1- الأدوات البرمجية:

- 1. لغة بايثون (Python) هي اللغة القياسية عالمياً في مجال AI لسهولة وقوة مكتباتها الرياضية والإحصائية.
- 2. مكتبة OpenCV: الأداة الأهم في "الرؤية الحاسوبية". تُستخدم لتحليل فيديوهات المباريات، وتحديد اللاعبين، وتتبع مسار الكرة من خلال الصور.
- 3. مكتبة TensorFlow / PyTorch: منصات "التعلم العميق" التي تُستخدم لبناء الشبكات العصبية الاصطناعية التي تتنبأ بالنتائج أو تحلل الأنماط التكتيكية المعقدة.

2-15- اختيار المواهب الذكي (AI Scouting) -

- المفهوم: بدلاً من الاعتماد على "عين الكشاف" التي قد تخطئ، يتم تغذية النظام ببيانات آلاف اللاعبين (تمريرات، سرعة، تدخلات، سلوك تحت الضغط).
 - الآلية:
1. تحديد البروفایل: يبحث النادي عن "لاعب وسط" يشبه في أدائه "مودريتش".
 2. التنقيب في البيانات: يقوم نظام ML بمقارنة خصائص مودريتش مع قاعدة بيانات تضم 50,000 لاعب حول العالم.
 3. الترشيح: يستخرج النظام قائمة بـ 5 لاعبين مغمورين يمتلكون نفس "البصمة الرقمية" وبسعر أقل (كما فعل نادي برينتفورد الإنجليزي للوصول للدوري الممتاز).

المراجع العلمية الموثوقة (قائمة ختامية)

1. الكتب الأكاديمية:

- *Artificial Intelligence in Sport Management* - James J. Zhang (2022).
- *Moneyball: The Art of Winning an Unfair Game* - Michael Lewis (لفهم فلسفة البيانات).

2. المنصات التعليمية:

- Coursera مساق "AI for Everyone" (Andrew Ng).
- Kaggle للحصول على مجموعات بيانات (Datasets) رياضية للتدريب.

3. المواقع التخصصية:

- Opta Analyst لتحليل البيانات الرياضية المتقدمة.
- MIT Sloan Sports Analytics Conference: متابعة أحدث الأوراق البحثية السنوية.