الفصل الثامن

التحليل الحركي للأداء الرياضي باستخدام برامج التحليل الرقمي والذكاء الاصطناعي

فهرس محتويات الفصل الثامن

الفصل الثامن: التحليل الحركي باستخدام البرامج الرقمية والذكاء الاصطناعي

مقدمة في التحليل الحركي الرقمي

الأساس النظري للتحليل الحركي ثنائي الأبعاد (2D Motion Analysis)

أولاً: برنامج Tracker Motion Analysis System

3. التعريف بالبرنامج

4. مبدأ عمل البرنامج

5. خطوات تشغيل البرنامج (Workflow)

6. المتغيرات البيوميكانيكية المستخرجة

7. تطبيقات البرنامج في الأنشطة الرياضية

8. مميزات البرنامج

9. القيود والتحديات

10. التوصيات التطبيقية

11. تصدير البيانات وتحليلها

ثانياً: برنامج Kinovea

12. التعريف بالبرنامج

13. أنماط التحليل (النوعي – الكمي)

14. الخصائص والمميزات

15. أدوات القياس والتحليل

16. استخدامات البرنامج في التدريب والتأهيل

17. القيود والسلبيات

المقارنة بين Tracker وKinovea

تطبيقات الذكاء الاصطناعي في التحليل الحركي

نظام تحليل الحركة باستخدام برنامج Tracker Motion Analysis System

أولاً: مقدمة

الأساس النظري للتحليل الحركي ثنائي الأبعاد(2D Motion Analysis)

يعتمد التحليل الحركي ثنائي الأبعاد على افتراض أن الحركة تتم داخل مستوى واحد، غالباً المستوى السهمي (Sagittal Plane)، مما يسمح باستخراج المتغيرات الكينماتيكية باستخدام كاميرا واحدة.

وتتطلب هذه الطريقة مجموعة من الشروط لضمان دقة القياسات:

- وضع الكاميرا عمودية على مستوى الحركة.(90°)
- تقليل خطأ المنظور.(Parallax Error)
- استخدام مرجع معايرة واضح داخل الفيديو.
- الحفاظ على ثبات الكاميرا أثناء التصوير.

ورغم بساطة هذا النوع من التحليل مقارنة بالأنظمة ثلاثية الأبعاد، إلا أنه أثبت دقة جيدة في العديد من التطبيقات التعليمية والبحثية.

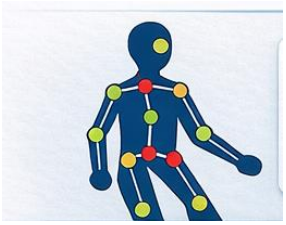
شهدت علوم الحركة والميكانيكا الحيوية تطورًا كبيرًا مع ظهور برامج تحليل الفيديو الرقمية، التي تتيح تحليل الحركة الإنسانية بطريقة علمية تعتمد على استخراج البيانات الحركية من تسجيلات الفيديو. ويُعد برنامج Tracker Motion Analysis System أحد أهم البرامج التعليمية والبحثية المفتوحة المصدر المستخدمة في تحليل الحركة ثنائي الأبعاد (2D Motion Analysis).

شكل (1) استخدامات برنامج Tracker Motion Analysis System		
الميكانيكا الحيوية الرياضية.	الأبحاث التطبيقية في تحليل المقذوفات والحركة الخطية والدائرية.	تحليل الأداء الرياضي.

ثانياً: التعريف ببرنامج Tracker

برنامج Tracker هو برنامج تحليل فيديو مفتوح المصدر (Open Source Video Analysis Software) تم تطويره ضمن مشروع Open Source Physics بهدف تحليل الحركة واستخراج البيانات الكينماتيكية من الفيديو.

يعتمد البرنامج على:

تتبع النقاط الحركية	تحويل الحركة إلى إحداثيات زمنية ومكانية	انشاء رسوم بيانية للمتغيرات البيوميكانيك
		

الرابط الرسمي للبرنامج

https://physlets.org/tracker

ثالثاً: مبدأ عمل برنامجTracker

يقوم البرنامج بتحليل الحركة عبر مجموعة خطوات منهجية تبدأ باستيراد فيديو الحركة، ثم تحديد نظام إحداثيات (Coordinate System)، ومعايرة المسافة باستخدام مرجع معروف داخل الفيديو، يلي ذلك تحديد نقطة أو أكثر على الجسم المراد تحليل حركته، ثم تتبع النقطة عبر الزمن إطارًا بإطار، وأخيرًا استخراج المتغيرات الحركية وتحليلها للحصول على بيانات كمية قابلة للتفسير البيوميكانيكي.

رابعاً: طريقة التشغيل (خطوات العمل)

(1إدخال الفيديو

يتم إدخال الفيديو من خلال فتح البرنامج، ثم اختيارOpen ⟵ File ، وبعد ذلك تحميل الفيديو المطلوب تحليله داخل واجهة البرنامج.

(2تحديد نظام الإحداثيات

تشمل هذه الخطوة تحديد محور X وY ، مع ضبط اتجاه الحركة بما يتوافق مع مسار الأداء الحركي لضمان دقة التحليل.

تحديد نظام الإحداثيات تشمل هذه الخطوة تحديد محور X وY ، مع ضبط اتجاه الحركة بما يتوافق مع مسار الأداء الحركي لضمان دقة التحليل.	

(3المعايرة(Calibration)

تتم المعايرة عبر إدخال طول مرجعي معلوم داخل الفيديو، مثل استخدام متر قياس أو خط معروف الطول، وذلك لتحويل القياسات من وحدات البكسل إلى وحدات قياس حقيقية.

(4إنشاء نقطة تتبع

يتم اختيارPoint Mass ، ثم تحديد نقطة على الجسم مثل مفصل الركبة أو أي نقطة واضحة يمكن تتبعها عبر الإطارات المختلفة.

(5تتبع الحركة

يمكن تتبع الحركة بطريقتين؛ إما التتبع اليدوي Frame by Frame لضمان أعلى دقة، أو التتبع شبه التلقائي في حال توفر تباين واضح يسمح للبرنامج بمتابعة النقطة.

(6استخراج البيانات

يقوم البرنامج تلقائياً بإنتاج إحداثيات X وY ، والزمن، والسرعة، والتسارع، مما يسمح بإجراء تحليل كينماتيكي شامل.

(7تحليل الرسوم البيانية

يتم تحليل النتائج عبر رسم منحنيات الحركة ومقارنة الأداء بين المحاولات المختلفة أو بين المؤدين.

خامساً: أهم المتغيرات البيوميكانيكية التي يستخرجها البرنامج

تشمل المتغيرات البيوميكانيكية التي يستخرجها برنامج Tracker مجموعة من المتغيرات الكينماتيكية الأساسية، مثل الإزاحة (Displacement)، والمسار الحركي، والسرعة اللحظية، والسرعة المتوسطة، والتسارع، وزمن الأداء، إضافة إلى متغيرات

إضافية مثل زاوية الحركة عند استخدام أدوات قياس الزوايا، وكذلك إمكانية تحليل المقذوفات والحركة الدائرية، مما يتيح فهماً علمياً دقيقاً لمراحل الأداء الحركي وتحليلها وفق الأسس الميكانيكية الحيوية.

سادساً: أهم الألعاب الرياضية التي يمكن تحليلها باستخدامTracker

يمكن تطبيق برنامج Tracker على مجموعة واسعة من الأنشطة الرياضية، حيث يُستخدم في ألعاب القوى مثل الجري والوثب الطويل ورمي الرمح ودفع الجلة، كما يمكن استخدامه في الألعاب الجماعية مثل كرة القدم (تحليل الركل) وكرة السلة (تحليل التصويب) والكرة الطائرة (تحليل الإرسال). كذلك يمكن توظيفه في الألعاب القتالية لتحليل الركلات والضربات الدورانية، وفي السباحة لتحليل مسار الذراع أثناء الأداء، إضافة إلى التدريب العسكري مثل تحليل القفز والهبوط واجتياز الحواجز لما يوفره البرنامج من تحليل دقيق للحركة.

سابعاً Workflow :احترافي لتحليل الأداء باستخدامTracker

يعتمد workflow الاحترافي لتحليل الأداء باستخدام Tracker على سلسلة خطوات منظمة تبدأ بتصوير الحركة باستخدام كاميرا ثابتة، ثم ضبط زاوية التصوير بحيث تكون عمودية على مسار الحركة، يلي ذلك إدخال الفيديو إلى البرنامج، وإجراء المعايرة باستخدام طول مرجعي معلوم، ثم تحديد نقاط المفاصل المطلوبة للتحليل، واستخراج المتغيرات الكينماتيكية، وتحليل الرسوم البيانية الناتجة، وأخيراً تقديم التغذية الراجعة المناسبة لتحسين الأداء.

ثامناً: مميزات البرنامج

يتميز برنامج Tracker بكونه مجاني بالكامل، ويقدم دقة علمية عالية تجعله مناسباً للأبحاث الأكاديمية والتعليمية، إضافة إلى إمكانية تصدير البيانات الناتجة وتحليلها باستخدام برامج أخرى، مما يسهل عملية التوثيق والتحليل المتقدم.

تاسعاً: القيود

على الرغم من مميزات البرنامج، إلا أن له بعض القيود، حيث يعتمد على التحليل ثنائي الأبعاد فقط، كما يحتاج إلى جودة تصوير عالية لضمان دقة التتبع، ويتطلب مستوى أساسياً من المعرفة بالميكانيكا الحيوية أو الفيزياء لفهم وتحليل النتائج بصورة صحيحة.

عاشراً: توصيات تطبيقية

لتحقيق أفضل نتائج باستخدام البرنامج يُنصح بتثبيت الكاميرا على حامل ثابت، واستخدام خلفية واضحة لتسهيل عملية التتبع، ووضع علامات مرئية على المفاصل أو النقاط المراد تحليلها، إضافة إلى تجنب الميلان في زاوية التصوير لضمان دقة القياسات.

خطوات تشغيل برنامج Tracker Motion Analysis System

أولاً: التحضير قبل تشغيل البرنامج (مرحلة مهمة جداً)

قبل فتح البرنامج يجب التأكد من تصوير الحركة بكاميرا ثابتة باستخدام حامل(Tripod) ، وأن تكون زاوية التصوير عمودية على مسار الحركة بزاوية 90°، مع وجود مرجع قياس داخل الفيديو مثل متر أو مخروط بطول معلوم، إضافة إلى اختيار خلفية واضحة لتسهيل عملية التتبع.

ثانياً: فتح البرنامج وإدخال الفيديو

تبدأ الخطوة بتشغيل برنامجTracker ، ثم اختيار File ⟶ Open من القائمة العلوية، وبعد ذلك اختيار ملف الفيديو والضغط على Open ليظهر الفيديو داخل نافذة العمل.

ثالثاً: ضبط نظام الإحداثيات(Coordinate System)

تُعد هذه الخطوة أساسية لضمان دقة التحليل، حيث يتم اختيار Axes من شريط الأدوات، ثم وضع نقطة الأصل (Origin) في مكان مناسب مثل سطح الأرض، وضبط اتجاه المحور الأفقي X والمحور الرأسي Y بما يتوافق مع اتجاه الحركة.

رابعاً: معايرة المسافة(Calibration)

بدون المعايرة لن تكون القياسات صحيحة، لذلك يتم اختيارCalibration Stick ، ثم سحب خط القياس على جسم معلوم الطول داخل الفيديو مثل متر قياس، وبعد ذلك إدخال القيمة الحقيقية للطول (مثلاً 1.0 متر).

خامساً: إنشاء نقطة تتبع(Tracking Point)

يتم إنشاء نقطة تتبع عبر اختيارPoint Mass ⟶ New ⟶ Track ، ثم تحديد نقطة واضحة على الجسم مثل الركبة أو الكاحل أو الكرة أو مركز الكتلة.

سادساً: تتبع الحركة

يمكن تتبع الحركة بطريقتين؛ الأولى التتبع اليدوي Frame by Frame وهو الأكثر دقة حيث يتم وضع النقطة في كل إطار، والثانية التتبع شبه التلقائي الذي يستخدم عند وجود تباين لوني واضح بين النقطة والخلفية.

سابعاً: استخراج البيانات

بعد الانتهاء من التتبع يقوم البرنامج تلقائياً بإنشاء جدول بيانات يتضمن إحداثيات X و Y والزمن والسرعة والتسارع، ويمكن الوصول إليها عبر Data Tool.

كيفية تصدير البيانات في برنامجTracker Motion Analysis System

تُعد عملية تصدير البيانات إحدى الخطوات الأساسية في تحليل الحركة باستخدام برنامجTracker ، حيث تسمح بنقل المتغيرات الكينماتيكية المستخرجة إلى برامج أخرى لإجراء تحليل إحصائي أو بيوميكانيكي متقدم، مثل برامج Excel أو SPSS أو .MATLAB وتأتي هذه الخطوة بعد الانتهاء من تتبع الحركة واستخراج البيانات المرتبطة بالموقع والسرعة والتسارع، مما يتيح للباحث إمكانية تنظيم النتائج وتحليلها بصورة أكثر عمقاً ودقة.

1- فتح جدول البيانات(Data Tool)

بعد الانتهاء من عملية تتبع الحركة، يتم فتح نافذة البيانات التي تحتوي على جميع المتغيرات المستخرجة من خلال اختيار:

• View ⟶ Data Tool

•الضغط على أيقونة جدول البيانات.

سيظهر:

•الزمن(t)

•الإحداثياتX

•الإحداثياتY

•السرعة(Velocity)

•التسارع(Acceleration)

•الزوايا (إذا تم تحليل زاوي).

2- تحديد المتغيرات المطلوب تصديرها

قبل تنفيذ عملية التصدير يمكن تخصيص البيانات وفق متطلبات التحليل، وذلك عبر اختيار الأعمدة المطلوبة أو إخفاء غير الضروري منها، مما يسهل معالجة البيانات لاحقاً.

• Position (x,y)

• Velocity

• Acceleration

• Angle

• Angular velocity.

3- تصدير البيانات بصيغة Excel أوCSV

تتم عملية التصدير من خلال نافذة Data Tool باستخدام المسار التالي:

• File ⟶ Export Data

ثم اختيار نوع الملف المناسب:

) CSV •الأفضل للتحليل العلمي(

• TXT

• Spreadsheet

ثم الضغط على:

• Save.

4- فتح البيانات فيExcel

بعد حفظ الملف يمكن فتح البيانات باستخدام برنامج Excel من خلال:

• File ⟶ Open

•اختيار ملف.CSV

سيتم عرض:

•الزمن مقابل الموقع

•السرعة مقابل الزمن

•التسارع مقابل الزمن.

5- تصدير الرسوم البيانية

يمكن تصدير الرسوم البيانية الناتجة عن التحليل لاستخدامها في التقارير أو الكتب الأكاديمية من خلال:

•فتحPlot View

•النقر بزر الفأرة الأيمن على الرسم

•اختيار.Export Image

6- احترافي لتصدير البيانات

يعتمد workflow الاحترافي على تسلسل خطوات منهجي يضمن جودة البيانات قبل تصديرها واستخدامها في التحليل العلمي.

•إنهاء تتبع النقاط.

•فتح.Data Tool

•تنظيف البيانات وإزالة القيم الشاذة إن وجدت.

•تصدير.CSV

•تحليل متقدم باستخدام:

- Excel
- MATLAB
- SPSS
- Python.

ثامناً: عرض الرسوم البيانية

من خلال اختيار Plot View يمكن عرض الرسوم البيانية مثل الموقع مقابل الزمن، والسرعة مقابل الزمن، والتسارع مقابل الزمن، مما يساعد في تفسير الأداء بشكل علمي.

تاسعاً: تحليل النتائج

بعد استخراج الرسوم البيانية يمكن مقارنة الأداء بين المحاولات، وتحديد لحظات الذروة في الحركة، وتحليل مراحل الأداء المختلفة.

عاشراً: حفظ العمل

يتم حفظ المشروع من خلال File ⟶ Save As ، حيث يمكن حفظ مشروع Tracker نفسه أو تصدير البيانات كملف Excel.

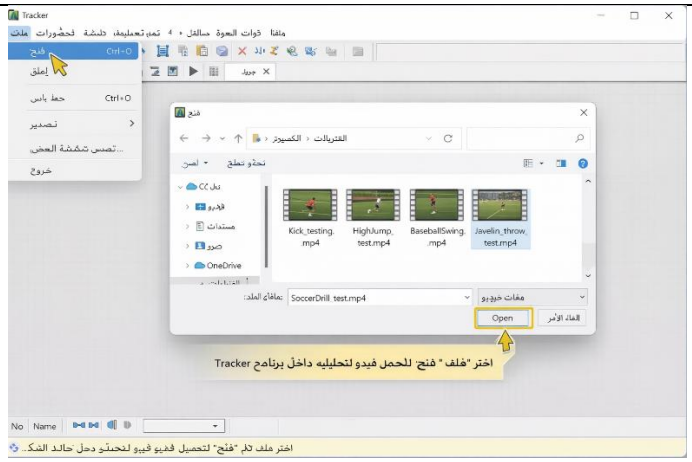
(Workflow)

تشمل الخطوات الأساسية إدخال الفيديو، ضبط المحاور، إجراء المعايرة، إنشاء نقطة تتبع، تتبع الحركة، استخراج البيانات، تحليل الرسوم البيانية، ثم حفظ النتائج.

نصائح خبراء الميكانيكا الحيوية (مهمة جداً)

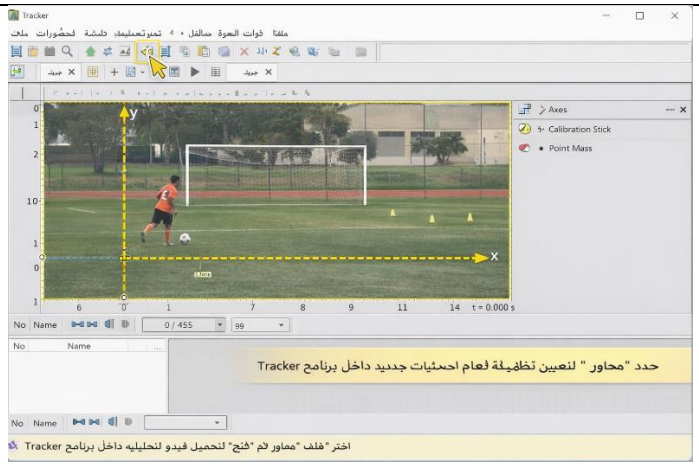
يُفضل وضع الكاميرا على مستوى الحركة، وتجنب التصوير بزاوية مائلة، واستخدام إضاءة جيدة، واختيار نقطة تتبع واضحة لضمان دقة التحليل وجودة النتائج.

جدو ل(1) شرح طريقة اجراء التجربة موضحا الشكل - صورة البرنامج - الشرح المختصر



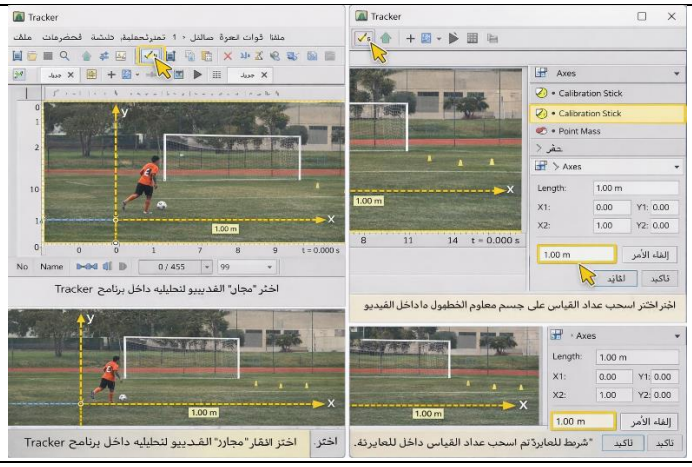
واجهة برنامج Tracker الرئيسية

توضح هذه الصورة الواجهة الأساسية للبرنامج بعد فتح الفيديو، حيث تظهر نافذة العرض وشريط الأدوات المستخدم في تحليل الحركة. تمثل نقطة البداية لعملية التحليل الكينماتيكي.



إدخال الفيديو داخل البرنامج

تعرض عملية تحميل الفيديو عبر File ⟶ Open، وهي الخطوة الأولى التي تسمح باستيراد الحركة المراد تحليلها وتحضيرها للمعالجة.



ضبط نظام الإحداثيات Coordinate System

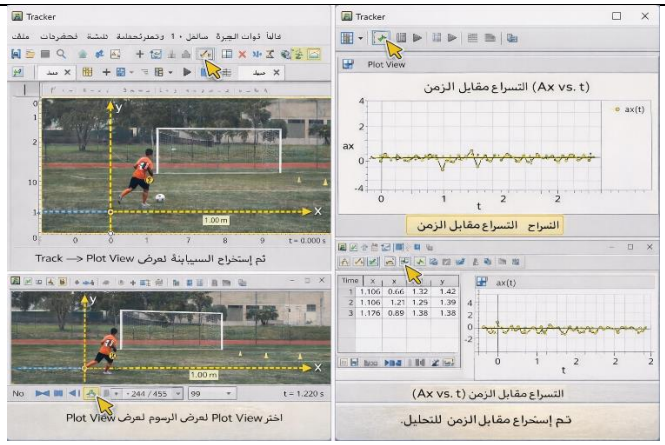
توضح كيفية تحديد محاور X و Y ووضع نقطة الأصل، وهي خطوة أساسية لضمان دقة القياسات واتجاه الحركة أثناء التحليل.

معايرة المسافة Calibration Stick

تبين استخدام أداة المعايرة لتحديد طول مرجعي داخل الفيديو بهدف تحويل القياسات من بكسل إلى وحدات قياس حقيقية مثل المتر.

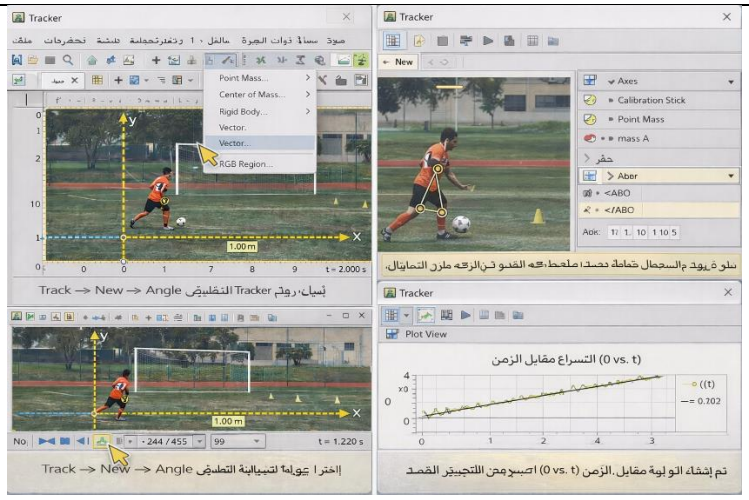
إنشاء نقطة تتبع Tracking Point

تظهر عملية اختيار Point Mass وتحديد نقطة على الجسم مثل المفصل أو مركز الكتلة لبدء تتبع الحركة عبر الزمن.



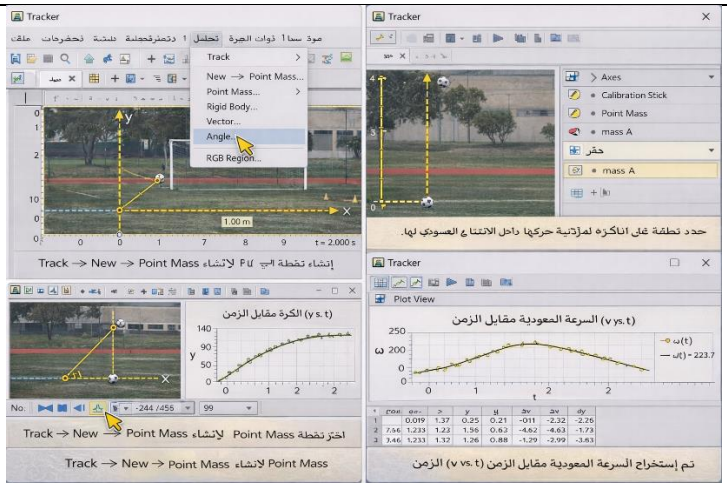
تتبع الحركة Frame by Frame

توضح آلية التتبع اليدوي إطاراً بإطار لضمان دقة تحليل المسار الحركي واستخراج البيانات الكينماتيكية.



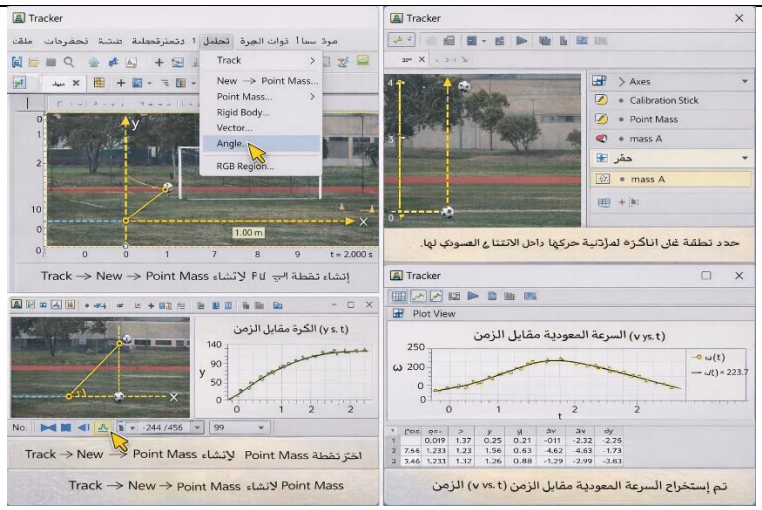
نافذة Data Tool لاستخراج البيانات

تعرض جدول البيانات الناتج والذي يشمل الزمن والإحداثيات والسرعة والتسارع، وهو الأساس للتحليل الكمي للحركة.



تصدير البيانات Export Data

تبين خطوات حفظ البيانات بصيغ مثل CSV أو Excel لاستخدامها في التحليل الإحصائي أو البحث العلمي.



Workflow التحليل الكامل

تعرض تسلسل خطوات العمل من إدخال الفيديو حتى استخراج النتائج، مما يسهل فهم سير عملية التحليل الحركي بشكل متكامل.

الفصل الثاني

برنامج التحليل الحركي ثنائي الأبعاد Kinovea

أولًا: التعريف ببرنامجKinovea

يُعد **Kinovea**برنامجًا متخصصًا في **تحليل الحركة ثنائي الأبعاد (Two-Dimensional Motion Analysis)**، وهو برنامج **مجاني ومفتوح المصدر (Free & Open Source Software)** صُمم خصيصًا لتحليل وتقييم ومقارنة الأداء الحركي اعتمادًا على تسجيلات الفيديو الرقمية.

يعتمد البرنامج على تقنيات **التحليل البصري المدعوم بالقياس الرقمي**، حيث يتيح للمستخدم دراسة الحركات البشرية من خلال:

- ملاحظة الأداء الفني للحركة.
- استخراج القياسات الكينماتيكية (Kinematic Variables) مثل الزوايا والمسافات والزمن والسرعة.

ويُستخدم Kinovea على نطاق واسع في:

- التدريب الرياضي(Sports Coaching)
- العلاج الطبيعي وإعادة التأهيل(Physical Therapy & Rehabilitation)
- الميكانيكا الحيوية(Biomechanics)
- التربية البدنية(Physical Education)
- البحث العلمي التطبيقي في علوم الحركة(Human Movement Sciences)

ثانيًا: أنماط التحليل فيKinovea

1.التحليل النوعي

Qualitative Motion Analysis

يركز التحليل النوعي على:

- الشكل العام للحركة.
- تسلسل المراحل الحركية.

- التناسق والتوافق العصبي العضلي.
- الأخطاء الفنية والانحرافات الحركية.

ويُستخدم هذا النوع من التحليل في:

- تقويم الأداء الفني.
- تعليم المهارات الرياضية.
- التغذية الراجعة البصرية للرياضيين والمتعلمين

.2التحليل الكمي

Quantitative Motion Analysis

يعتمد التحليل الكمي على القياسات الرقمية المستخرجة من الفيديو بعد المعايرة(Calibration) ، ومن أهمها:

- زوايا المفاصل(Joint Angles)
- المسافات الخطية(Linear Distances)
- الزمن(Time)
- السرعة المتوسطة واللحظية(Velocity)

ويُستخدم هذا النوع من التحليل في:

- الدراسات العلمية.
- التقييم التأهيلي.
- المقارنات قبل/بعد البرامج التدريبية.

ثالثًا: أهم سمات وخصائص برنامجKinovea

.1برنامج مجاني وسهل الاستخدام

Free & User-Friendly Software

لا يتطلب أي تراخيص مدفوعة، كما يتميز بواجهة استخدام بسيطة ومنظمة، مما يجعله مناسبًا للمبتدئين والباحثين على حد سواء.

.2قياس نطاق الحركة السلبي والفعال

Range of Motion (ROM)

يسمح البرنامج بقياس:

- النطاق الحركي السلبي(Passive ROM)
- النطاق الحركي الفعال(Active ROM)

وهو عنصر أساسي في:

- التقييم السريري.
- المتابعة التأهيلية.
- قياس التحسن الوظيفي للمفاصل.

.3تحليل ومقارنة الأداء الحركي

Performance Comparison

يتيح:Kinovea

- مقارنة أدائين مختلفين.(Before / After)
- مقارنة لاعبين أو تقنيتين حركيتين.
- العرض المتزامن للفيديوهات.(Side-by-Side Analysis)

.4تتبع النقاط والمسارات الحركية

Point Tracking & Trajectory Analysis

يوفر أدوات:

- التتبع اليدوي(Manual Tracking)
- التتبع شبه الآلي(Semi-Automatic Tracking)

مع إمكانية رسم المسارات الحركية وتحليلها بصريًا وزمنيًا.

.5القياسات الكينماتيكية الدقيقة

Kinematic Measurements

يشمل:

- قياس الزوايا(Angle Measurement)
- قياس المسافات(Distance Measurement)
- حساب الأزمنة(Time Events)

مع إمكانية **تصدير البيانات إلى ملفات Excel أو CSV** لاستخدامها في التحليل الإحصائي.

.6التحكم المتقدم في الفيديو

Advanced Video Control

مثل:

- العرض البطيء(Slow Motion)
- التشغيل العكسي(Reverse Playback)
- التحليل إطارًا بإطار(Frame-by-Frame Analysis)

وهو ما يساعد في تحليل المراحل الدقيقة للحركة.

.7دعم صيغ الفيديو المختلفة

Video Format Compatibility

يدعم معظم صيغ الفيديو الشائعة دون مشاكل ترميز(Codec Issues) ، مما يسهل استخدامه في البيئات التعليمية والميدانية.

رابعًا: سلبيات وحدود برنامجKinovea

.1التحليل ثنائي الأبعاد فقط

2D Limitation

لا يستطيع تحليل الحركات ثلاثية الأبعاد المعقدة، مما قد يؤدي إلى:

- أخطاء منظور(Perspective Errors)
- انخفاض الدقة في الحركات متعددة المستويات

.2الاعتماد على جودة التصوير

Camera & Setup Dependency

تعتمد دقة النتائج على:

- زاوية الكاميرا.
- ثباتها.
- جودة الإضاءة.
- المعايرة الصحيحة.

.3الحاجة إلى الخبرة والوقت

Learning Curve & Reliability

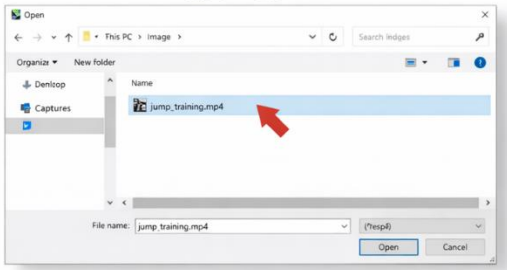
يتطلب:

- تدريب المستخدم.
- توحيد إجراءات القياس.
- تكرار التحليل لضمان الثبات.(Reliability)

1. فتح البرنامج

نافذة البداية لبرنامج Kinovea.

2. استيراد فيديو



لختيار ملف الفيديو والنقر علي "Open".

3. إضافة النقاط وتحليل الحركة

وضع نقاط وخطوط لتحليل حركة المفاصل.

4. قياس الزوايا والسرعات

قياس قياس الزوايا السرعة اثناء الحركة.

5. التشغيل البطيء

ضبط سرعة الحركة بوضوح (Slow Motion).

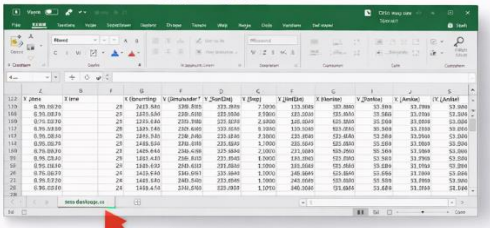
6. مقارنة الحركات

مقارنة أثنين مختلفين عبر الوض المترامن للفيديو.

7. تصدير البيانات

مقارنة أثنين مختلفين عبر المحترفين للفديو .

8. التصدير والتحليل



عرض وتحليل البيانات في برنامج Excel.