DOI prefix: 10.33170, 2025, Vol (18), Issue (6): 952-971

Sciences Journal Of Physical Education

P-ISSN: 1992-0695, O-ISSN: 2312-3619
https://joupess.uobabylon.edu.iq/

# Impact of an AI-guided rehabilitation program on the rehabilitation of partial ankle ligament tears in advanced handball players

Asst. Lec. Muhammad Sajit Eidan*[1], Prof. Dr. Khalid Shaker Al-Awadi[2]

[1,2] *University of Kufa. College of Physical Education and Sports Sciences,Iraq.*

*Corresponding author: mohammeds.alnighashy@student.uokufa.edu.iq

Received: 02-08-2025 Publication: 28-12-2025

**Abstract**

The research aims to develop an AI-guided rehabilitation program for partial ankle ligament tear injuries. The researchers seek to integrate an effective rehabilitation program with AI techniques to classify and rehabilitate patients with partial ankle ligament tears in advanced handball players. The research sample consisted of (10) players with partial tears of the lateral ankle ligaments, who were selected purposively. The researchers used the experimental method with a single group pre-test and post-test to verify the effectiveness of the prepared rehabilitation program, as well as the accuracy of the artificial intelligence model in classifying the injury. The researchers concluded that the artificial intelligence model is capable of identifying and classifying partial ligament tears in the ankle joint. The AI model showed the factors that have the greatest impact on the injury, with body mass index (BMI) having the greatest effect, followed by foot length, then foot width, then leg length, then thigh length, and finally, training age. The rehabilitation program used had a positive effect on improving the muscle strength of the muscles working on the ankle joint with partial tears in advanced handball players, as evidenced by the improvement in the post-test results of the research sample. The researchers recommend building a comprehensive digital database that includes player data for various individual and team sports events and for different age groups, as its role is very important in keeping up with the digital development taking place in various sports institutions, continuously monitoring the progress of players, and making accurate decisions based on this data and updating it continuously.

**Keywords:** Rehabilitation Program, Artificial Intelligence, Partial Tear Injury, Ankle Ligaments, Handball..

# تأثير برنامج تأهيلي بدلالة الذكاء الاصطناعي في تأهيل إصابة التمزق الجزئي لأربطه الكاحل لدى لاعبي كره اليد المتقدمين

**م.م. محمد ساجت عيدان ، أ.د. خالد شاكر العوادي**

**العراق. جامعة الكوفة. كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة**

mohammeds.alnighashy@student.uokufa.edu.iq

**تاريخ استلام البحث 2025/8/2 تاريخ نشر البحث 2025/12/28**

## الملخص

هدف البحث الى اعداد برنامج تأهيلي بدلاله الذكاء الاصطناعي لتأهيل إصابة التمزق الجزئي لأربطه الكاحل اذ يسعى الباحثان إلى دمج برنامج تأهيلي فعّال مع تقنيات الذكاء الاصطناعي من أجل تصنيف المصابين وتأهيل إصابة التمزق الجزئي لأربطة الكاحل لدى لاعبي كرة اليد المتقدمين. هدف الباحثان إلى تقديم نموذج علمي يمكن من خلاله تقييم فعالية البرنامج العلاجي بشكل دقيق وموضوعي، ويقلل من الاعتماد على التقدير الذاتي للطبيب أو المدرب. وتوظيف الذكاء الاصطناعي في متابعة الإصابات الرياضية بشكل أوسع، ما يسهم في تطوير نظم التأهيل وتحسين الأداء الرياضي وتقليل نسب الإصابة المتكررة لدى اللاعبين المحترفين. وتكونت عينة البحث من (10) لاعبين مصابين بالتمزق الجزئي لأربطه الكاحل الوحشية تم اختيارهم بالطريقة القصدية واستخدم الباحثان المنهج التجريبي بأسلوب المجموعة الواحدة ذات الاختبار القبلي والبعدي للتحقق من مدى فاعلية البرنامج التأهيلي المعد فضلا عن دقة الانموذج الذكاء الاصطناعي في تصنيف الإصابة واستنتج الباحثان ان انموذج الذكاء الاصطناعي قادر على التعرف وتصنيف اصابة التمزق الجزئي لأربطه مفصل الكاحل. وقد اظهر الانموذج للذكاء الاصطناعي العوامل ذات التأثير الأكبر على الإصابة اذ كان (مؤشر كتلة الجسم) له التأثير الأكبر على الإصابة ويليه (طول القدم) ثم (عرض القدم) ثم (طول الساق) ثم (طول الفخذ) ثم (العمر التدريبي). وكان هناك أثر إيجابي للبرنامج التأهيلي المستخدم على تحسين القوة العضلية للعضلات العاملة على مفصل الكاحل المصاب بالتمزق الجزئي لدى لاعبي كرة اليد المتقدمين وضهر ذلك من خلال التحسن في نتائج الاختبار البعدي لعينه البحث. ويوصي الباحثان ببناء قاعده بيانات رقميه شامله تضم بينات اللاعبين لمختلف الفعاليات الرياضية الفردية والجماعية ولمختلف الفئات العمرية لكون ان دورها مهم جدا في مواكبه التطور الرقمي الحاصل في مختلف المؤسسات الرياضية والمتابعة المستمرة لتقدم اللاعبين واتخاذ القرارات الدقيقة والتي تكون مبنيه على وفق هذه البيانات وتحديثها باستمرار.

**الكلمات المفتاحية: برنامج تأهيلي، الذكاء الاصطناعي، إصابة التمزق الجزئي، أربطه الكاحل، كره اليد.**

**1- المقدمة:**

تمتاز الرياضات الجماعية ومنها كرة اليد بالسرعة التي تتطلب مجهودًا بدنيًا عاليًا وتفاعلاً حركيًا متكررًا بين الجري، القفز، تغيير الاتجاهات، والاحتكاك البدني بين اللاعبين، مما يجعلها من الرياضات ذات الطبيعة التنافسية العالية والمخاطر البدنية المتكررة. وتُمارس هذه اللعبة على نطاق واسع محليًا ودوليًا، وتحظى بمتابعة كبيرة، كما تُدرج ضمن الألعاب الأولمبية، ما يزيد من مستوى التنافس وشدة الأداء البدني بين اللاعبين، وبالتالي ارتفاع معدلات الإصابات. ومن أبرز المشكلات التي يعاني منها لاعبو كرة اليد على الجانب البدني هي الإصابات الحركية الناتجة عن طبيعة اللعبة، والتي تشمل إصابات المفاصل، العضلات، والأربطة، وخصوصًا في الأطراف السفلية. وتُعتبر إصابة التواء الكاحل من أكثر الإصابات شيوعًا بين لاعبي كرة اليد، وتحدث غالبًا نتيجة الهبوط الخاطئ بعد القفز، أو التلامس البدني أثناء محاولة افتكاك الكرة، أو بسبب تغيير الاتجاه بشكل مفاجئ أثناء الجري. ويحدث التمزق الجزئي لأربطة الكاحل عندما تتمدد الأربطة بشكل يفوق قدرتها على التحمل دون أن تنقطع تمامًا، ما يؤدي إلى ألم، تورم، وفقدان جزئي للوظيفة الحركية للمفصل. ورغم أن هذا النوع من الإصابات لا يُصنف ضمن الحالات الحرجة، إلا أن إهماله أو عدم التعامل معه بطرق تأهيلية فعالة قد يؤدي إلى تكرار الإصابة أو حدوث إصابة مزمنة تؤثر على كفاءة اللاعب وأدائه المستقبلي. ولذلك، فإن التدخل التأهيلي المناسب في المراحل المبكرة للإصابة يعد أمرًا حاسمًا في إعادة اللاعب إلى مستواه الطبيعي وضمان استمراريته في المنافسات. ولأن لاعبي كرة اليد المحترفين يخضعون لجداول تدريبية ومنافسات مكثفة، فإن العودة السريعة والآمنة إلى الملاعب بعد الإصابة تُعد من الأولويات القصوى، وهذا ما يجعل البرامج التأهيلية جزءًا أساسيًا من العملية التدريبية. وتتنوع الأساليب التأهيلية المستخدمة من التمارين العلاجية، إلى تمارين التوازن، مرورًا بتقنيات التقييم الدوري لمستوى الاستشفاء ومدى استعادة المفصل لوظيفته الكاملة. شهد مجال التأهيل الرياضي تطورًا كبيرًا بفضل توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI)، والتي باتت تُستخدم لتقديم حلول دقيقة وسريعة في تقييم الإصابات، تحليل الحركات، وتوقع أخطار الإصابة. فالذكاء الاصطناعي يعتمد على معالجة كميات كبيرة من البيانات، مثل قياسات القوة، المدى الحركي، والتوازن العضلي، من خلال خوارزميات قادرة على تصنيف اللاعبين حسب مستوى المخاطرة أو درجة الإصابة. في حالة التواء الكاحل وتمزق الأربطة، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يُستخدم لرصد التحسن التدريجي في المفصل، وذلك من خلال إدخال بيانات اللاعب قبل وبعد الإصابة، وتحليل مدى الاستجابة للبرنامج التأهيلي. كما يمكنه المساعدة في اتخاذ قرارات موضوعية بخصوص توقيت العودة للعب، وتقليل احتمالية الانتكاسة. ومن هنا تبرز أهمية هذا البحث في كونه يسعى إلى دمج برنامج تأهيلي فعّال مع تقنيات الذكاء الاصطناعي من أجل تأهيل إصابة التمزق الجزئي لأربطة الكاحل لدى لاعبي كرة اليد المتقدمين. إذ يهدف الباحثان إلى تقديم نموذج علمي يمكن من خلاله تقييم فعالية البرنامج العلاجي بشكل دقيق وموضوعي، ويقلل من الاعتماد على التقدير الذاتي للطبيب أو المدرب. وتوظيف الذكاء الاصطناعي في متابعة الإصابات

الرياضية بشكل أوسع، ما يسهم في تطوير نظم التأهيل وتحسين الأداء الرياضي وتقليل نسب الإصابة المتكررة لدى اللاعبين المحترفين.

تُعد إصابة التواء الكاحل، وبالأخص التمزق الجزئي لأربطة الكاحل، من أكثر الإصابات شيوعًا بين لاعبي كرة اليد، نظرًا لطبيعة اللعبة التي تتطلب حركات سريعة، وتغييرات مفاجئة في الاتجاه، وقفزات متكررة، واحتكاكًا جسديًا مكثفًا بين اللاعبين. وغالبًا ما تؤدي هذه الإصابة إلى غياب اللاعب لفترات متفاوتة، وقد تتكرر الإصابة في حال لم يتم التعامل معها بطريقة تأهيلية صحيحة. وعلى الرغم من وجود العديد من البرامج التأهيلية التقليدية التي تهدف إلى استعادة الوظيفة الحركية للمفصل المصاب، إلا أن الكثير منها يفتقر إلى أدوات تقييم دقيقة وموضوعية يمكن من خلالها قياس مدى فعالية تلك البرامج بشكل علمي. كما أن الاعتماد على التقييم الذاتي أو التقديرات الإكلينيكية فقط قد لا يكون كافيًا لضمان استعادة اللاعب لكامل جاهزيته أو تقليل احتمالية تكرار الإصابة. في المقابل، أصبح الذكاء الاصطناعي يمثل أداة واعدة في تحليل البيانات الطبية والرياضية بدقة عالية، وتقديم نماذج تصنيفية تساعد في تقييم الحالة الصحية والبدنية للرياضيين. ومن هنا، ظهرت الحاجة إلى البحث في إمكانية دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن البرامج التأهيلية الرياضية، بهدف بناء نموذج علمي يمكن الاعتماد عليه في تقييم فعالية التأهيل، ورصد التغيرات التي تطرأ على حالة اللاعب، وتحديد توقيت العودة الآمنة للمشاركة الرياضية. وعليه، فإن مشكلة هذا البحث تتحدد في ضعف فعالية أدوات التقييم التقليدية لبرامج التأهيل المستخدمة مع لاعبي كرة اليد المصابين بالتمزق الجزئي لأربطة الكاحل، والحاجة إلى تطوير نموذج تأهيلي يعتمد على الذكاء الاصطناعي لتقديم تقييم دقيق وموضوعي لمدى تحسن حالة اللاعب، وضمان عودته الآمنة للملاعب دون خطر تكرار الإصابة.

**ويهدف البحث الى:**

1- اعداد برنامج تأهيلي بدلالة الذكاء الاصطناعي لتأهيل أصابه التمزق الجزئي لأربطه الكاحل لدى لاعبي كره اليد المتقدمين والتعرف على فعالية هذا البرنامج في تأهيل الإصابة.

2- التعرف على أثر البرنامج تأهيلي بدلالة الذكاء الاصطناعي على القوة العضلية للعضلات العاملة على مفصل الكاحل لدى لاعبي كرة اليد المتقدمين.

3- التعرف على المصابين بالتمزق الجزئي لأربطه الكاحل وتصنيفهم حسب خوارزميات الذكاء الاصطناعي والتعرف على الخصائص الأكثر تأثيرا في اصابة التمزق الجزئي لأربطة الكاحل.

**2- إجراءات البحث:**

**2-1 منهج البحث:** استخدم الباحثان المنهج التجريبي بأسلوب المجموعة التجريبية الواحدة ذات الاختبار القبلي والبعدي لملائمته لطبيعة ومشكله البحث.

**2-2 مجتمع البحث وعينته:**

تم تحديد مجتمع البحث المتمثل بلاعبي الدوري العراقي الممتاز بكره اليد والذي اعتمدهم الباحثان جميعا بأسلوب الحصر الشامل لبناء قاعده البيانات الخاصة بتدريب الذكاء الاصطناعي اذ بلغ عددهم الكلي (244) لاعب اما عينة البحث فقد تم اختيارها بالطريقة القصدية وبلغت (10) لاعبين مصابين بالتمزق الجزئي لأربطة الكاحل بعد ابعاد أربعة لاعبين لم يلتزموا بالمنهج التأهيلي ولاعبين رفضوا الانخراط بالمنهج التأهيلي وتم اجراء التجانس في المتغيرات ذات التأثير المباشر على عمليه التأهيل وكما مبين في الجدول التالي:

الجدول (1) يبين تجانس عينة البحث

| المتغيرات | وحدة القياس | الوسط الحسابي | الانحراف المعياري | الوسيط | معامل الالتواء |
|---|---|---|---|---|---|
| العمر | سنة | 25.2 | 5 | 25 | 0.12 |
| الوزن | كغم | 82.0 | 6 | 81.5 | 0.25 |
| الطول | سم | 183.5 | 10 | 183 | 0.15 |
| العمر التدريبي | سنة | 10.5 | 12 | 10 | 0.125 |
| درجة الاصابة | جميع افراد العينة مصابين بالتمزق الجزئي لأربطة الكاحل | | | | |

**2-3وسائل جمع المعلومات والاجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:**

- شبكة الانترنيت العالمية
- الملاحدة والتجريب
- المصادر العربية والأجنبية
- فريق العمل المساعد
- جهاز الداينموميتر
- ميزان طبي
- شريط قياس مرن

**2-4 إجراءات البحث الميدانية:**

- **تدريب الذكاء الاصطناعي:**

لغرض تدريب خوارزميه الذكاء الاصطناعي قام الباحثان بجمع بيانات اللاعبين المشاركين في الدوري العراقي الممتاز بكره اليد للموسم الرياضي (2024-2025) وكانت هذه البيانات على النحو التالي:(العمر البيولوجي، العمر التدريبي، الطول، الوزن، مؤشر كتله الجسم، عدد ساعات التدريب، عدد ساعات النوم، جوده النوم، عدد الإصابات السابقة في الكاحل، قوه الانثناء الاخمصي للقدم، قوه الانثناء الظهري للقدم، قوه الانثناء الوحشي للقدم، قوه الانثناء الانسي للقدم، طول الفخذ، محيط الفخذ، طول الساق، محيط الساق، طول القدم، عرض القدم) اذ تم تريب الذكاء الاصطناعي على هذه البيانات بطريقه تمكنه من تصنيف بيانات اللاعبين المصابين عن بيانات اللاعبين غير المصابين وعند اخضاع اللاعبين المصابين لمفردات المنهج التأهيلي وشفائهم واعاده ادخال بياناتهم مره ثانيه سيصنف البرنامج اللاعبين على انهم غير مصابين وتم شفائهم وتم ذلك بعدة خطوات كالتالي:

- **تحديد عينه التدريب:** حدد الباحثان عينه التدريب الخاصة بالذكاء الاصطناعي المتمثلة بلاعبي كره اليد المتقدمين وتوزعت وكان عدد اللاعبين (244) والنشطين في وقت تسجيل البيانات والموزعين على فرق الدوري الـ (16). حيث تم تقسيم العينة الى مجموعتين:

**1- المجموعة الأولى:** اللاعبين غير المصابين الذين يتمتعون بصحه جيده ولم يتم تشخيصهم بإصابة التمزق الجزئي للكاحل واي من درجاته.

**2- المجموعة الثانية:** اللاعبين المصابين الذين تم تشخيص اصابتهم بالتمزق الجزئي لأربطه الكاحل.

**- تجميع البيانات الأولية:**

بعد اطلاع الباحثان على العديد من الدراسات السابقة الخاصة بمجال الذكاء الاصطناعي والتدريبات الخاصة به والبحث في اهم الخصائص التي من الممكن ان تؤثر على عمليه التصنيف وبعد اجراء العديد من المقابلات الشخصية مع الخبراء في مجال الذكاء الاصطناعي عمد الباحثان على تظمين أكبر قدر ممكن من الخصائص ذات التأثير في عمليه التدريب لكي يتمتع النموذج بأكبر قدر ممكن من الدقة ودون تعقيد النموذج بشكل غير ضروري. ولكن يجب التفريق بين الخصائص والمعلمات فالخصائص (Features) هي "البيانات المُدخلة للنموذج والتي يعتمد عليها لاتخاذ قراراته. يتم اختيارها بناءً على المشكلة المطلوب حلها" اما المعلمات (Hyperparameters) فهي تعني " القيم التي تتحكم في كيفية تدريب النموذج، ولكنها لا تُستخرج من البيانات نفسها. يتم ضبطها قبل عملية التدريب ويمكن أن تؤثر بشكل كبير على دقة النموذج" (Koehrsen 2018) ).

**- تجهيز البيانات ومعالجتها:**

**أولا: تنظيف البيانات والتأكد من جودتها:**

قام الباحثان وقبل ادخال البيانات الى الانموذج بالتأكد من جوده البيانات وعدم وجود أخطاء حدثت اثناء تسجيل البيانات من قبل الباحثان وفريق العمل المساعد او الأخطاء التي تحدث اثناء تفريغ البيانات في الجداول الخاصة بها ومن هذه الأخطاء:

1- القيم الناقصة (Missing Data): والتي قد تحدث سهوا بسبب نسيان الباحثان أحد الحقول فارغه ويتم تعوضها بمتوسط القيم لهذا المتغير.

2- القيم غير المنطقية او المتطرفة (Outliers): وهي أيضا تحدث بسبب أخطاء طباعيه اذ يجب التأكد منها قبل إدخالها واعتمادها.

**ثانيا: تطبيع البيانات:**

المتغيرات التي تم اختيارها واستحصال بيانتها هي بيانات متغيرة الوحدات وغير متجانسة مثل الوزن بالكيلوغرام والاطوال والمحيطات بالسنتيمتر والقوه العضلية بالنيوتن والمدى الحركي للمفصل بالدرجات وان استخدام هذه القيم الكبيرة قد يؤثر على دقه النموذج الذي من الممكن ان يعتمد على هذه القيم الكبيرة، حتى لو كانت غير مهمه على حساب القيم الصغيرة التي قد تكون اهم.

**ثالثا: تقسيم البيانات:**

تم تدريب النموذج وذلك بتقسيم البيانات الى بيانات تدريب وبيانات اختبار على النحو التالي:

1- 80% من البيانات تم استخدامها لتدريب النموذج.

2- 20% من البيانات تم استخدامها لاختبار النموذج وقد تحصل النموذج بعد استخدام اربع خوارزميات على دقه عالية.

**- تقييم دقة النموذج:**

تقيم النموذج المقترح يعد مهم جدا لمعرفه ما إذا كانت كل ما تقدم من إجراءات هي صحيحه ام تحتاج الى تعديل اذ تم تقييم النموذج باستخدام عدة مقاييس:

1-دقة النموذج (Accuracy).

2-حساسية النموذج (Recall).

3- Precision

4- F measure

**– معالجة عدم توازن البيانات (Class Imbalance):**

نظرًا لوجود تباين كبير بين عدد اللاعبين المصابين وغير المصابين، ظهرت مشكلة عدم توازن العينة

(Class Imbalance)، وهي من المشكلات الشائعة في مجال تصنيف البيانات. حيث يؤدي هذا الخلل إلى انحياز خوارزميات التصنيف نحو الفئة الأكبر عددًا (غير المصابين)، مما يقلل من قدرة النموذج على التنبؤ بالحالات الإيجابية (المصابين)، رغم تحقيقه دقة ظاهرية مرتفعة. ولمعالجة هذه المشكلة، تم استخدام استراتيجيتين أساسيتين:

**1–موازنة الأوزان داخل النموذج:** تم تفعيل خيار 'class_weight='balanced في الخوارزميات وان هذا التعديل يجعل النموذج يُعطي وزنًا أكبر للفئة الأقل (المصابين)، مما يعزز قدرته على التمييز بين الفئتين ويقلل من تجاهله للحالات النادرة.

**2–إعادة التوازن باستخدام (SMOTE):** وهي تقنية تقوم بإنشاء عينات اصطناعية جديدة للفئة الأقل (المصابين) عبر تحليل المسافات بين العينات الحقيقية. وبهذا يتم موازنة عدد المصابين وغير المصابين في بيانات التدريب، مما يُمكّن الخوارزميات من التعرف بشكل أفضل على الأنماط المرتبطة بالإصابة. اذ أسهمت هذه الخطوات في تحسين أداء النماذج، وخصوصًا على مستوى الحساسية (Recall) والدقة الإيجابية (Precision)، مما جعل النتائج أكثر واقعية وفعالية عند تقييم النموذج المقترح للكشف عن الإصابات.

**2–5 الاختبارات القبلية:**

الاختبارات القبلية هي" موقف معين مصمم من مجموعة من الاسئلة والمشكلات لإظهار عينه من سلوك الفرد او هي عمليه تفاعل بين المختبر والاختبار على بذل اقصى جهد". (احمد 1987، 76)

تم اجراء الاختبارات القبلية على عينه البحث البالغ عددهم (10) لاعبين بشكل منفرد لان الإصابة حصلت بأوقات متفاوتة للاعبين اثناء فتره المنافسة في الدوري اذ تم بتاريخ (2024/10/30) اجراء الاختبار القبلي على اول مصاب بعد ان تم السماح للمصاب بالانخراط في البرنامج التأهيلي من قبل الطبيب المختص وكان اخر اختبار قبلي بتاريخ (2025/5/3) وقد راعى الباحثان وفريق العمل المساعد تثبيت الظروف الخاصة بالاختبارات وطريقة أجرائها لكي تكرر نفس الإجراءات ونفس الظروف بنفس الترتيب قدر الإمكان حيث شملت قياس القوه العضلية للعضلات العاملة على مفصل الكاحل.

**2-6 اعداد البرنامج التأهيلي:**

صمم الباحثان البرنامج التأهيلي وفقا لنوع الإصابة وشدتها مع الاخذ بالاعتبار المستوى الرياضي للاعب حيث اطلع الباحثان على المراجع العلمية ذات الصلة والدراسات السابقة في هذا المجال فضلا عن استشاره المتخصصين في العلاج الطبيعي واعاده التأهيل والطبيب المختص راعى الباحثان عند تصميم المنهج ما يأتي:

- مده البرنامج التأهيلي (8) أسابيع.
- عدد الوحدات التأهيلية الكلية (24) وحده.
- عدد الوحدات التأهيلية في الأسبوع (3) وحدات.
- أيام التأهيل في الاسبوع (الاحد، الثلاثاء، الخميس).
- تراوحت مده الوحدة التأهيلية بين (30 – 60) دقيقه.
- هدف البرنامج التأهيلي لاستعاده وضيفه الكاحل الحركية وشفاء منطقه الإصابة.
- التتريب الفردي لكل مصاب وطبقا لوقت بدأه بتطبيق مفردات البرنامج التأهيلي.
- الاحماء الجيد قبل تطبيق التمرينات.
- التدرج في التمرينات والانتقال من التمرينات الحرة باستخدام وزن الرجل ثم وزن الجسم الى التمرينات مع الاثقال المتدرجة ايضا.
- العمل على مراعاة زوايا العمل العضلي لمفصل الكاحل بما يحقق تنمية صحيحة للألياف العضلية العاملة على مفصل الكاحل.
- شمل البرنامج التأهيلي تمرينات توازن ثابت وتوازن متحرك لما له من اهميه كبيره لزيادة الادراك الحسي وتنشيط العضلات العاملة على مفصل الكاحل.
- مراعاة فترات الراحة وحالات التعب اثناء اداء التمارين.
- استشارة الطبيب في جميع مراحل العمل خوفا من حدوث مضاعفات.

طبق البرنامج التأهيلي بشكل فردي كما ذكر الباحثان سابقا على المصابين بالتمزق الجزئي لا ربطه الكاحل، وتضمن البرنامج على (24) وحده تأهيليه وبواقع (3) وحدات تأهيليه أسبوعيا (انظر ملحق 9) وتراوحت مده الوحدة التأهيلية بين (30 – 60) دقيقه. وقد تم تنفيذ المنهج التأهيلي لمدة (ثمانية أسابيع) لكل لاعب بشكل فردي، حيث التحق كل منهم في توقيت مختلف، وذلك تبعًا لتاريخ إصابته خلال الدوري الخاص بلعبته، علمًا أن دوري كرة اليد للمحترفين بدأ بتاريخ 2024/10/28 وانتهى في 2025/6/4.

**2-7 الاختبارات العدية:**

من أجل تقييم فعالية البرنامج التأهيلي في تحسين مؤشرات استعادة وظيفة مفصل الكاحل لدى اللاعبين المصابين، قام الباحثان بإجراء الاختبارات والقياسات البعدية لكل حالة بعد الانتهاء من تنفيذ وحدات البرنامج التأهيلي المخصص. وشملت هذه الاختبارات قياس القوة العضلية للعضلات العاملة على مفص الكاحل، مع التأكد من تطبيق جميع الاختبارات في نفس الظروف والإعدادات التي أُجريت فيها القياسات القبلية لضمان دقة المقارنة وموضوعيتها.

**2-8 المعالجات الإحصائية:**

استخدم الباحثان الوسائل الاحصائية المناسبة لمعالجة نتائج البحث باستخدام البرنامج الاحصائي (SPSS) الإصدار (30) ومن هذه المعالجات الإحصائية:

- الوسط الحسابي
- الانحراف المعياري
- الوسيط، معامل الالتواء
- المدى، اعلى قيمة
- اقل قيمة
- التفرطح
- اختبار ولكوكسن للعينات المترابطة.

**3- عرض وتحليل ومناقشة النتائج:**

**3-1 عرض الأوساط الحسابية والانحرافات المعيارية والاختبار التائي بين الاختبارات القبلية والبعدية لعينه البحث على متغير القوة العضلية لمفصل الكاحل المصاب**

جدول (2) دلاله الفروق بين الاختبارات القبلية والبعدية لمتغير القوة العضلية العاملة على مفصل الكاحل

| المتغير | وحده القياس | الاختبار القبلي | | الاختبار البعدي | | قيمة T المحسوبة | sig | الدلالة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | الوسط الحسابي | الانحراف المعياري | الوسط الحسابي | الانحراف المعياري | | | |
| القوة العضلية للانثناء الاخمصي | نيوتن | 15.252 | 2.413 | 35.520 | 3.465 | 27.136 | 0.000 | معنوي |
| القوة العضلية للانثناء الظهري | نيوتن | 27.972 | 8.064 | 54.614 | 6.228 | 5.666 | 0.002 | معنوي |
| القوة العضلية للانثناء الانسي | نيوتن | 12.419 | 3.244 | 20.675 | 2.624 | 6.190 | 0.002 | معنوي |
| القوة العضلية للانثناء الوحشي | نيوتن | 12.081 | 3.201 | 21.714 | 3.282 | 6.193 | 0.002 | معنوي |

يتبين من بيانات الجدول (2) وجود فروق دالة إحصائيًا في اختبارات قوة العضلات العاملة على مفصل الكاحل بين القياسين القبلي والبعدي لدى عينة البحث، ويُعزى هذا التحسن إلى التطور الإيجابي في ميكانيكية الأداء العضلي، مما يشير إلى استعادة مفصل الكاحل لوظائفه الطبيعية بعد الإصابة بالالتواء. وتدل النتائج على فعالية التمارين التأهيلية التي تم تطبيقها بما يتناسب مع طبيعة الإصابة، إذ ساهمت تدريجيًا في تعزيز قوة العضلات المحيطة بالمفصل، مع تسجيل تطور ملحوظ في القوة العضلية أسبوعيًا، مما يدل على استجابة جيدة من المصابين للبرنامج التأهيلي. ويرى الباحثان أن هذه النتائج ناتجة عن التحسن في كفاءة الجهاز العصبي العضلي، وزيادة كفاءة النسيج العضلي، وقدرته على إنتاج القوة من خلال تدريب العضلات المساعدة والمثبتة، وليس الاقتصار فقط على العضلات الرئيسة، إلى جانب التنوع في استخدام نمطي الانقباض العضلي المتحرك والثابت تبعًا لمتطلبات التأهيل، مما ساعد في تحسين مرونة الأربطة المفصلية وتقوية الأوتار العضلية. ووفقًا لما ذكرته ناهد أحمد عبد الرحيم، "فإن التدريبات التأهيلية تُعد من العوامل الأساسية في تقوية العضلات الضعيفة، إذ أن نمو العضلات وزيادة سمك أليافها لا يتطلب بالضرورة زيادة في عدد الألياف، بل يعتمد على تمرينات الانقباض والانبساط".

(ناهدة 2011، 194)

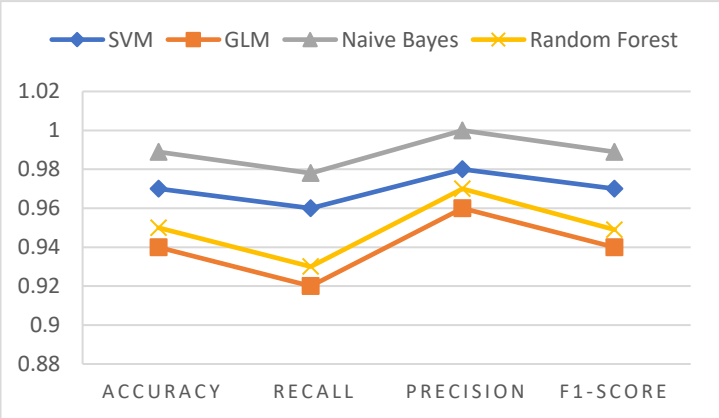
ويؤكد طلحة حسين حسام الدين "أن الحفاظ على قوة العضلات في جميع اتجاهات مفصل الكاحل يسهم في تحقيق اتزان القوام". (طلحة 1993، 175)

كما يشير مفتي إبراهيم إلى أن "القوة العضلية المتولدة تعتمد على مجموعة من العوامل مثل عدد الألياف المثارة، مقطع العضلة، نوع الألياف، زاوية إنتاج القوة، طول العضلة قبل الانقباض، مدة الانقباض، مدى التناغم بين العضلات المشاركة، والحالة النفسية للرياضي، إضافة إلى العمر والجنس ومدى فاعلية الإحماء". كما أوضحت التطور في الأوساط الحسابية لقوة العضلات حدوث تحسن في الأداء حول المفصل، حيث اتخذ المفصل زوايا مناسبة لإنتاج القوة العضلية، إلى جانب تحسن في الدورة الدموية في موضع الإصابة، مما ساعد في إزالة بقايا الإصابة الناتجة عن تهتك الأنسجة، وزيادة النشاط الأيضي، وهو ما رفع من كفاءة المفصل بشكل عام.

### 3-2عرض ومناقشة أداء النماذج الأربعة (SVM، GLM، Naive Bayes، Random Forest)

جدول (3) يبين اداء الخوارزميات المستخدمة

| الخوارزمية | الدقة (Accuracy) | الاسترجاع (Recall) | الدقة الإيجابية (Precision) | F1-Score |
|---|---|---|---|---|
| SVM | 0.97 | 0.96 | 0.98 | 0.97 |
| GLM | 0.94 | 0.92 | 0.96 | 0.94 |
| Naive Bayes | 0.989 | 0.978 | 1 | 0.989 |
| Random Forest | 0.95 | 0.93 | 0.97 | 0.949 |




الشكل (1) يمثل الرسم البياني لأداء الخوارزميات

يقدم الجدول (3) والشكل (1) تحليلًا مقارنًا لأداء أربع خوارزميات تم استخدامها وتجريبها وهي: آلة المتجه الداعم(SVM) ، النموذج الخطي العام(GLM) ، بايز (Naive Bayes) ، والغابات العشوائية Random) Forest) اذ تم تقييم أداء هذه الخوارزميات باستخدام أربعة مقاييس رئيسية هي:

1. الدقة(Accuracy)
2. الاسترجاع(Recall)
3. الدقة الإيجابية(Precision)
4. F1-Score

اذ تمثل الدقة النسبة المئوية للملاحظات التي تم تصنيفها بشكل صحيح من إجمالي الملاحظات. وهي مقياس عام لأداء النموذج. اما الاسترجاع (Recall) أو الحساسية (Sensitivity) فهي تشير إلى قدرة النموذج على تحديد جميع الحالات الإيجابية الفعلية بشكل صحيح. ويُحسب كنسبة الإيجابيات الحقيقية (True Positives)إلى مجموع الإيجابيات الحقيقية والسلبيات الكاذبة.(False Negatives) في حين ان الدقة الإيجابية (Precision) تعبر عن نسبة الملاحظات الإيجابية التي توقعها النموذج بشكل صحيح من إجمالي الملاحظات التي توقعها على أنها إيجابية. وتُحسب كنسبة الإيجابيات الحقيقية إلى مجموع الإيجابيات الحقيقية والإيجابيات الكاذبة(False Positives) اما (F1-Score) فهو المتوسط التوافقي (Harmonic Mean) للدقة الإيجابية والاسترجاع. يُعد مقياسًا متوازنًا ومفيدًا بشكل خاص عندما يكون هناك تفاوت في توزيع الفئات في البيانات (Imbalanced Classes)، حيث يأخذ في الاعتبار كلاً من الإيجابيات الكاذبة والسلبيات الكاذبة. (وزان 2022، 257)

بناءً على البيانات الموضحة في الجدول (3) تظهر خوارزمية بايز الأداء الأفضل بشكل عام بين الخوارزميات الأربع، وحققت أعلى قيم في جميع المقاييس حيث كانت الدقة (0.989) مما يشير إلى أنها صنفت ما يقرب من (98.9%) من الملاحظات بشكل صحيح. اما الاسترجاع فكانت قيمته (0.978) مما يعكس قدرة عالية على اكتشاف معظم الحالات الإيجابية الفعلية. وكانت الدقة الإيجابية للخوارزمية هي (1) أي بنسبة (100%)، وهي قيمة ممتازة تشير إلى أن جميع التنبؤات الإيجابية التي قامت بها الخوارزمية كانت صحيحة بالفعل أي بمعنى (لا توجد إيجابيات كاذبة) اما التوازن الممتاز بين الدقة الإيجابية والاسترجاع فهو ينعكس جلياً من خلال قيمة (F1-Score) فقد كانت (0.989). وجاءت بالمرتبة الثانية من حيث الأداء العام خوارزمية آلة المتجه الداعم (SVM) بدقة بلغت (0.97) وقيمة استرجاع (0.96) اما الدقة الإيجابية فكانت (0.98) وبلغت قيمة (F1-Score) (0.97) وهو يمثل أداءً قويًا ومتوازنًا، خاصة في الدقة الإيجابية، مما يشير إلى موثوقية عالية في التنبؤات الإيجابية. وقدمت الغابات العشوائية أداءً جيدًا ومنافسا وبلغت نسبة الدقة (0.95) وبقيمة استرجاع (0.93) وبدقه إيجابية بلغت (0.97) وقيمة (F1-Score) (0.949) وعلى الرغم من أن أداءها أقل قليلاً من Naive) (Bayesو (SVM) في بعض المقاييس، إلا أنها خيارًا قويًا نظرًا لقدرتها على التعامل مع مجموعات

البيانات المعقدة والحد من (Overfitting). وسجلت خوارزمية النموذج الخطي العام أقل أداء بين الخوارزميات الأربع بدقة بلغت (0.94) وقيمة استرجاع بلغت (0.92) اما الدقة الإيجابية للخوارزمية كانت (0.96) و(F1–Score) بقيمة (0.94) وعلى الرغم من أنها الأقل أداءً في هذه المقارنة، إلا أنها تتميز ببساطتها وقابليتها للتفسير، مما قد يجعلها مناسبة في سياقات معينة حيث تكون الشفافية أكثر أهمية من الأداء المطلق.

**3–3 تحليل تأثير البرنامج التأهيلي على تصنيف الإصابات باستخدام بايز:**

بعد معالجه البيانات احصائيا للاختبارات القبلية والبعدية سيعرض الباحثان أبرز مخرجات الذكاء الاصطناعي لخوارزمية بايز بعد تدريبها والتي تمثلت بجدول يعرض تصنيف اللاعبين المصابين قبل وبعد خضوعهم لمفردات البرنامج التأهيلي وإدخال بياناتهم البعدية وعرضها على الذكاء الاصطناعي ودقه تمكن الانموذج من تصنيف هذه البيانات للاعبين على انها تعود للاعبين مصابين ام لا والجدول (3) و (4) يستعرض فيه الباحثان أكثر الخصائص ذات التأثير في أصابه التمزق الجزئي لأربطة الكاحل وفق خوارزمية بايز بعد استبعاد اكثر الخصائص ذات التأثير المباشر على الإصابة والداخلة في الاختبارات القبلية والبعدية للتعرف على اكثرها احتمالا في ان تكون من المسببات الرئيسة للإصابة.

الجدول (4) يبين تصنيف اللاعبين المصابين قبل خضوعهم للتأهيل باستخدام خوارزمية (بايز) الذكاء الاصطناعي

| اللاعب | الحالة الفعلية (قبل التأهيل) | تصنيف الذكاء الاصطناعي | النتيجة (صحيح/خطأ) | الحالة الفعلية (بعد التأهيل) | تصنيف الذكاء الاصطناعي | النتيجة (صحيح/خطأ) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اللاعب 1 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 2 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 3 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 4 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 5 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 6 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 7 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 8 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 9 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |
| اللاعب 10 | مصاب | مصاب | صحيح | غير مصاب | غير مصاب | صحيح |

يبين الجدول (4) مخارج الذكاء الاصطناعي وتصنيفها للاعبين المصابين بعد تدريب الخوارزمية اذ يظهر من خلال الجدول ان الخوارزمية كانت قادره على تصنيف (10) لاعبين مصابين من أصل (10) لاعبين أي بدقه (100%) وهيه نسبه ممتازة وفق (Liaw 2002) اذ ان هذه النسبة دون أدني شك جيده جدا لعمليات التصنيف ويمكن اعتمادها.

وتعكس هذه النتيجة فعالية خوارزمية في التعامل مع البيانات المتعددة والمتغيرة للاعبي كرة اليد، وخاصة عند وجود خصائص حيوية متنوعة مثل القوة العضلية ومحيطات الأطراف ومؤشر كتلة الجسم. كما أن قدرة الخوارزمية على الوصول إلى هذه النسبة تُشير إلى إمكانية الاعتماد على هذا النموذج مستقبلاً في الكشف المبكر عن احتمالية الإصابة، مما يُسهم في تحسين استراتيجيات الوقاية والتأهيل.

الجدول (5) يبين أهم الخصائص التي تؤثر في الإصابة حسب خوارزمية الذكاء الاصطناعي

| ت | الخاصية | نسبة التأثير (%) |
|---|---|---|
| .1 | مؤشر كتلة الجسم (BMI) | %25 |
| .2 | طول القدم | %18 |
| .3 | عرض القدم | %15 |
| .4 | طول الساق | %11 |
| .5 | طول الفخذ | %10 |
| .6 | العمر التدريبي | %9 |

بعد تطبيق خوارزمية بايز لتصنيف حالات إصابة التواء الكاحل لدى لاعبي كرة اليد، تم تحليل مساهمة بعض الخصائص. تم استبعاد المتغيرات ذات التأثير المباشر والواضح مثل القوة العضلية للكاحل والمدى الحركي للمفصل نظرًا لتأثيرها الحتمي في احتمالية الإصابة في حال وجود ضعف، حيث ركز التحليل هنا على المتغيرات غير المباشرة التي قد تُسهم في تفسير قابلية الإصابة دون أن تكون السبب المباشر. وقد تم استخراج هذه النسب بناءً على تحليل نتائج نموذج بايز الذي يعتمد على احتمالية ارتباط كل خاصية بحالة الإصابة. يتم في هذا النوع من النماذج تقدير مدى مساهمة كل متغير (خاصية) في تحسين التنبؤ بالحالة

(مصاب أو غير مصاب)، وذلك من خلال:

- حساب التوزيع الاحتمالي الشرطي لكل خاصية بالنسبة لكل فئة (مصاب / غير مصاب).
- قياس قوة التمييز التي تقدمها كل خاصية في التفريق بين الفئتين.
- بعد ذلك، تم تحويل هذه القيم إلى نسب مئوية تعكس المساهمة النسبية لكل متغير مقارنة بباقي المتغيرات المدخلة.

ظهر مؤشر كتلة الجسم كأعلى المتغيرات تأثيرًا بنسبة (25%) ما يشير إلى وجود علاقة واضحة بين زيادة الوزن أو الكتلة بالنسبة للطول واحتمالية الإصابة. الزيادة في الوزن قد تزيد الحمل على الكاحل، خصوصًا أثناء القفز والهبوط المتكرر مما يعني احتمالية أكبر لحدوث الإصابة. اما طول وعرض القدم (18% و15%) شكلا نسبة ملحوظة من التأثير، ما قد يرتبط بتأثير شكل القدم في الاستقرار الأرضي والتوازن، خاصة إذا كانت هناك علاقة بين شكل القدم ونوع الحذاء المستخدم. ما "الطول" جاء بنسبة متوسطة (14%) تعكس دوره في تغيير ميكانيكية الحركة، لكن ليس بشكل مباشر مثل شكل القدم أو كتلة الجسم. اما طول الساق والفخذ (11% و10%) ساهما بنسبة أقل، ولكن لا تزال مؤثرة، وقد يُعزى ذلك إلى أن طول الطرف السفلي يغير من زاوية التحميل والحركة، مما قد يسبب اختلالًا في الديناميكية الحركية عند أداء حركات سريعة. وجاء في المرتبة الأخيرة العمر التدريبي بنسبة (9%) اذ كانت مساهمته الأقل ضمن المجموعة، ولكن لا يمكن إغفال دوره، حيث يمكن أن يكون ذو تأثير مزدوج: فكلما زادت سنوات التدريب زادت الخبرة، ولكن أيضًا قد يكون هناك تراكم للإجهاد المزمن أو الحركات الخاطئة ولم يكن هناك تأثير يستحق الذكر لمتغيرات مثل نوع اللعبة او نوع الحذاء او العمر البيولوجي. يرى الباحثان أن هذه النتائج تعكس أهمية دراسة المتغيرات غير المباشرة في فهم أسباب إصابات التواء الكاحل. فرغم استبعاد العوامل الواضحة مثل القوة العضلية للعضلات العاملة على مفصل الكاحل كذلك المدى الحركي للكاحل أظهرت بعض الخصائص مثل مؤشر كتلة الجسم وأبعاد الطرف السفلي والقدم مساهمة فعلية في تحديد احتمالية الإصابة.

## 4-الاستنتاجات والتوصيات:

### 4-1الاستنتاجات:

1-إمكانية انموذج الذكاء الاصطناعي على التعرف وتصنيف اصابة التمزق الجزئي لأربطه مفصل الكاحل.

2-اظهر الانموذج للذكاء الاصطناعي العوامل ذات التأثير الأكبر على الإصابة اذ كان (مؤشر كتلة الجسم) له التأثير الأكبر على الإصابة ويليه (طول القدم) ثم (عرض القدم) ثم (طول الساق) ثم (طول الفخذ) ثم (العمر التدريبي).

3-هناك أثر إيجابي للبرنامج التأهيلي المستخدم على تحسين القوة العضلية للعضلات العاملة على مفصل الكاحل المصاب بالتمزق الجزئي لدى لاعبي كره اليد المتقدمين وضهر ذلك من خلال التحسن في نتائج الاختبار البعدي لعينه البحث.

### 4-2التوصيات:

1-بناء قاعده بيانات رقميه شامله تضم بينات اللاعبين لمختلف الفعاليات الرياضية الفردية والجماعية ولمختلف الفئات العمرية لكون ان دورها مهم جدا في مواكبه التطور الرقمي الحاصل في مختلف المؤسسات الرياضية في البلدان المختلفة والمتابعة المستمرة لتقدم اللاعبين واتخاذ القرارات الدقيقة والتي تكون مبنيه على وفق هذه البيانات وتحديثها باستمرار.

2-استخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي المختلفة للتصنيف والتنبؤ لما لها من دور مهم جدا في التعرف على خصائص وانماط الإصابة والخروج بقرارات تكون مبنيه على البيانات واتخاذ التدابير الوقائية التي من شانها حماية اللاعبين والانتقال بهم لمستويات أفضل.

3-اجراء التقييمات الدورية الشاملة للرياضيين لتحديد الحالة البدنية والوقوف على احتياجاتهم البدنية والمهارية والذي بدوره قد يحمي اللاعبين ويقيهم من الإصابة.

4-اعتماد البرامج التأهيلية الحديثة باستخدام أحدث الأدوات الرياضية لتعزيز القدرات البدنية والمهارية والتقليل قدر الإمكان من المضاعفات الصحية

**المصادر**

- احمد بدر عقل: اصول البحث العلمي ومناهجه، ط2، الكويت، وكالة المطبوعات ،1987.

- زهير قاسم الخشاب وآخرون؛ كرة القدم، ط2: جامعة الموصل، دار الكتب، 1999.

- طلحة حسين حسام الدين؛ الميكانيكا الحيوية الاسس النظرية والتطبيق، ط1: القاهرة، دار الفكر العربي، 1993.

- ظافر هاشم الكاظمي: التطبيقات العلمية لكتابة الرسائل والاطاريح التربوية والنفسية: بغداد، جامعة بغداد، كلية التربية الرياضية,2012.

- عباس حسين عبيد السلطاني؛ الطب الرياضي واصابات الرياضيين: ط1 النجف الاشرف، دار الضياء للطباعة , 2013.

- مجدي الحسيني عليوة: الإصابات الرياضية بين الوقاية والعلاج، جامعة القاهرة، مدرس واستشاري العلاج الطبيعي وإصابات الملاعب، جامعة الزقازيق .

- ناهد احمد عبد الرحيم؛ التمرينات التأهيلية لتربية القوام، ط1: عمان، دار الفكر العربي ناشرون وموزعون، 2011.

- وزان، م. (2025 .تعلم الآلة وعلم البيانات: الأساسيات والمفاهيم والخوارزميات والأدوات د. ع. طعيمة، ترجمة). بغداد: دار المناهج للنشر والتوزيع.

-https://www.ibm.com/sa-ar/think/topics/random-forest

-Liaw. A. Wiener. M. (2002): Classification and Regression by randomForest.

-Russell. S. & Norvig. P. (2003). Artificial Intelligence: A Modern Approach .