تاريخ استلام البحث : 17 آب 2025

A Comparative Study of the Mechanical Properties of a Football According to Spin Direction

Abstract

This study aimed to compare the effects of different spin directions (topspin, backspin, sidespin, minimal spin) on the mechanical characteristics of a football. Accurate scientific knowledge of the targeted subject provides answers to questions about how mechanical changes occur in the ball when its direction of rotation changes, and how these changes affect actual performance on the field by identifying the mechanical properties of the ball's rotational states. The descriptive approach was used with comparative design. And dependent variables included: pre-impact speed, post-rebound speed, impact angle, rebound angle, coefficient of restitution (COR), and post-rebound distance by conducting an analysis of ball kicking performed by an advanced-level player from the goalkeeper's area. over a distance of 50 meters across a series of attempts involving the four types of rotation, considering them as independent variables. The results showed significant differences between spin directions. Backspin recorded the highest values across all post-rebound variables, while topspin recorded the lowest and the side spin has moderate values compared to the other types of rotation, while the zero spin (without rotation) is the most stable, with consistently moderate results and relatively fixed values. MANOVA results confirmed that spin direction significantly affects ball behavior. The study concluded that the direction of the ball's spin has a clear impact on the values of its mechanical properties, and that external forces interact significantly to influence the ball's behavior and trajectory.

E-ISSN:2707-7853

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

Keywords: Football, Biomechanics, Mechanical Properties, Spin Direction

دراسة مقارنة الخصائص الميكانيكية لكرة القدم وفق اتجاه الدوران

الباحث: م.م رأفت حسن عبد علي raafat.abd2304@cope.uobaghdad.edu.iq

الباحث: أ.د انتصار رشيد حميد intessar.sulaiman@cope.uobaghdad.edu.iq

الباحث: أ.د أحمد ثامر محسن dr.ahmedthamir@cope.uobaghdad.edu.iq

جامعة بغداد/ كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى مقارنة تأثير اتجاهات الدوران المختلفة (الأمامي، الخلفي، الجانبي، الصفري) على الخصائص الميكانيكية لكرة القدم، ان المعرفة الدقيقة العلمية للموضوع المستهدف يعطي إجابات لتساؤلات حول كيفية التغيرات الميكانيكية التي تحدث للكرة عند تغير اتجاه دورانها واثرها على الأداء الفعلي على أرضية الملعب من خلال التعرف على الخصائص الميكانيكية لحالات دوران الكرة، اذ استخدم المنهج الوصفي بالتصميم المقارن، وشملت المتغيرات التابعة: السرعة قبل السقوط، السرعة بعد الارتداد، زاوية السقوط، زاوية الارتداد، معامل الارتداد، والمسافة بعد الارتداد من خلال اجراء تحليل لركل الكرة من قبل لاعب ذو مستوى متقدم عند منطقة حارس المرمى لمسافة 50 متر لمجموعة محاولات لأنواع الدوران الأربعة كمتغيرات مستقلة، وأظهرت النتائج وجود فروق معنوية بين الاتجاهات المختلفة، حيث سجل الدوران الخلفي أعلى القيم في جميع المتغيرات بعد الارتداد، بينما سجل الدوران الأمامي أدنى القيم والدوران الجانبي ذو قيم متوسطة بالمقارنة مع الدورانات الاخرى وان الدوران الصفري (بدون دوران) الأكثر استقراراً ونتائجه معتدلة بقيم ثابتة نسبياً، أكدت نتائج اختبار MANOVA أن اتجاه الدوران يؤثر معنوياً على حركة الكرة، واستنتجت الدراسة أن اتجاه دوران الكرة الأثر الواضح على قيم الخصائص الميكانيكية وأن للقوى الخارجية تفاعل تأثير مهم في سلوك ومسار الكرة.

الكلمات المفتاحية: كرة القدم، البايوميكانيك، الخصائص الميكانيكية، اتجاه الدوران

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

1- مقدمة البحث

1-1 المقدمة والاهمية:

تُعد دراسة الخصائص الميكانيكية لكرة القدم عند تعرضها لاتجاهات دوران مختلفة من الموضوعات الحديثة التي تتطلب تحليلاً دقيقاً في مجال البايوميكانيك الرياضي، إذ تُعد كرة القدم واحدة من الألعاب التي تعتمد بشكل جوهري على فهم الحركات المعقدة والتفاعلات الفيزيائية التي تحدث أثناء اللعب، ولا سيما عند التعامل مع الكرة التي تخضع لتأثيرات متعددة مثل الجاذبية، الاحتكاك، وقوى الهواء، إن فهم ديناميكيات حركة الكرة وتحديد كيفية تأثير اتجاه الدوران على الخصائص الميكانيكية مثل السرعة، الزوايا، الارتداد، والمسافة يعد أساسياً لتطوير الأداء المهاري للاعبين وتحسين برامج التدريب، وقد أصبح التحكم في اتجاه الدوران من أهم المهارات التي يسعى اللاعبون المحترفون إلى إتقانها لتحقيق أفضل أداء ممكن في المواقف التنافسية المختلفة، مثل التمرير الطويل، التسديد المباشر، والكرات الثابتة.

تتمثل أهمية الدراسة في توسيع قاعدة المعرفة حول تأثير دوران الكرة على الخصائص الميكانيكية المهمة في الأداء الرياضي وهذا في كونه يقدم تحليلاً مقارناً لتأثير اتجاهات الدوران المختلفة (الأمامي، الخلفي، الجانبي، الصفري) على مجموعة من المتغيرات الحركية المرتبطة بحركة الكرة، حيث تسعى هذه الدراسة إلى تعميق الفهم العلمي لدور الاتجاهات الدورانية في تحسين دقة الأداء وتوجيه الكرة في مسارات مدروسة يمكن استثمارها في تطوير الخطط التكتيكية، حيث أن الدوران يُعد من العوامل الحاسمة في تحديد مسار الكرة بعد التصادم مع الأرض، وهو ما يؤثر بشكل مباشر على دقة الأداء الفني أثناء اللعب، يمكن الاستفادة من النتائج في تصميم تدريبات متخصصة لتحسين دقة الركلات في التسديد من الثبات او من الحركة نحو المرمى وكذلك طريقة تعامل اللاعبين مع اتجاهات الدوران المختلفة في التمريرات الطويلة عند استلام واخماد الكرة، يدعم هذا البحث فهم الظواهر الميكانيكية الحقيقية التي تؤثر على الكرة خلال اللعب نحو كيفية التعامل معها بشكل متغير ومختلف التي قد تُسهم في تطوير صناعة الكرات بالتالي تحسين مسارها (أكثر استقراراً) بما يتماشى مع متطلبات الأداء الاحترافي.

1-2 مشكلة البحث:

ان التحليل الميكانيكي لظاهرة او حالة معينة في لعبة كرة القدم يعطي التصور والنتيجة الإيجابية التي من خلالها نفهم طريقة الأداء او العمل بالتالي هي تسهم في تحسين مستوى الأداء وكذلك الفهم العلمي

المنطقي الصحيح الذي يستند على الدلائل العلمية، بالتالي تستند الحقيقة العملية على مفاهيم ومبادئ علمية، لذلك الاختيار والتوجه نحو فهم ودراسة ميكانيكية الكرة وكيفية تفاعلها لحالات معينة هي ضرورة أساسية ومكملة لنواحي أخرى تتعلق بمستوى أداء اللاعب وما يحيط به من متغيرات تسهم وتؤثر في الأداء العام الفعلي للعبة كرة القدم، لذلك تكمن مشكلة البحث في الإجابة على التساؤل الآتي:

ما تأثير اتجاهات الدوران المختلفة للكرة (الأمامي، الخلفي، الجانبي، الصفري) على الخصائص الميكانيكية لكرة القدم عند ركلها لمسافة طويلة وماهي قيم الخصائص الميكانيكية للكرة لحالات الدوران؟

1-3 أهداف البحث:

1. التعرف على قيم الخصائص الميكانيكية لدوران كرة القدم (الامامي، الخلفي، الجانبي، الصفري).
2. التعرف على تأثير اتجاه الدوران للكرة وفق متغيرات الخصائص الميكانيكية.
3. المقارنة بين قيم متغيرات الخصائص الميكانيكية وفق اختلاف دوران الكرة.
4. تفسير ديناميكيات الكرة وفق نتائج متغيرات الخصائص الميكانيكية.

1-4 فروض البحث:

توجد فروق ذات دلالة إحصائية للمقارنة بين الخصائص الميكانيكية لكرة القدم وفق اتجاه الدوران (الأمامي، الخلفي، الجانبي، الصفري).

1-5 مجالات البحث:

تم استخدام كرة قدم رسمية (عينة الدراسة المستهدفة) من قبل لاعب ضمن طلبة كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة على ملعب كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة في جامعة بغداد وإجراءات البحث الميداني في تاريخ 5/26 - 2025/6/24.

2-منهجية البحث:

2-1 منهج البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي بالتصميم المقارن لتحليل مجموعة من الخصائص الميكانيكية وفق اتجاهات مختلفة لدوران كرة القدم.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

2-2 عينة البحث:

تم استخدام كرة قدم واحدة من نوع معتمد رسمياً وفق معايير الاتحاد الدولي لكرة القدم ونفذ التجربة لاعب ذو مستوى أداء متقدم من طلبة كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة وذلك لضمان استقرار الأداء وتقليل التباين الناتج عن الاختلافات الفردية، مع الإشارة اذ لم يكن اللاعب هو محور الدراسة المقصودة، بل الكرة نفسها (عينة البحث المستهدفة) من خلال معرفة قيم الخصائص الميكانيكية لسلوكها ومسارها الحركي.

2-3 أدوات جمع البيانات

- كاميرا iPhone 13 Pro بسرعة 240 إطار في الثانية.
- برنامج التحليل الحركي Kinovea لقياس السرعة والزوايا بدقة.
- حاسبة نوع MSI CYBORG15 AI.
- مقياس رسم موضوع على أرض الملعب لاحتساب المسافة والمسار بدقة.
- أجهزة مساعدة مثل الشواخص والمؤشرات البصرية لضبط منطقة السقوط.

2-4 متغيرات البحث:

تم تحديد المتغيرات المستقلة والتابعة من قبل الباحثين لغرض دراستها بشكل دقيق وكانت على النحو التالي:

- المتغيرات المستقلة: اتجاه دوران الكرة (امامي، خلفي، جانبي، صفري او قليل جداً).
- المتغيرات التابعة: هي الخصائص الميكانيكية (السرعة قبل السقوط، السرعة بعد الارتداد، زاوية السقوط، زاوية الارتداد، معامل الارتداد COR ($e = \frac{v_{بعد}}{v_{قبل}}$)، المسافة بعد الارتداد.

2-5 إجراءات البحث الميدانية:

تم تنفيذ التجربة في ملعب كرة قدم معتمد، اذ تركل الكرة من خط منطقة المرمى (5.5 متر) باتجاه مسافة (50 متر) مع السماح بنسبة خطأ (±5%) في منطقة السقوط عند منتصف الملعب، ونظرًا لطبيعة الأداء الرياضي المتغيرة وتأثير العوامل الخارجية التي تصاحب إجراء التجارب الميدانية مثل الظروف المناخية، وحالة الرياضي البدنية والنفسية، والدقة التقنية للأجهزة المستخدمة في القياس ومقاييس المسافات والزوايا فقد تم اعتماد نسبة خطأ مقبولة قدرها (±5%) في قياسات الأداء الحركي والميكانيكي. تستند هذه النسبة

إلى ما ورد في الأدبيات المنهجية والبحثية في علوم الرياضة وطرق القياس والتقويم، والتي تؤكد أن هذا المستوى من الخطأ يُعد منطقيًا ومقبولًا إحصائيًا وعلميًا في مثل هذا النوع من البحوث التطبيقية ولضمان دقة القياس وتقليل التأثير المحتمل للأخطاء العشوائية اذ أوضح(2000) Hopkins، أن معظم الاختبارات الرياضية تُظهر معاملات تباين (CV) تتراوح بين 1% و5% عند استخدام أدوات قياس دقيقة وخبراء مختصين، مما يعزز الثقة في الصلاحية التطبيقية للقياسات، كما أشار (2025) Sauret، إلى أن قيمة CVالتي تقل عن 10% تُعتبر مؤشرًا على موثوقية الأداة، مما يجعل هامش ±5% معيارًا أكثر تحفظًا وملاءمة للدراسات التطبيقية في المجال الرياضي، لذلك تُعد نسبة الخطأ الميداني ±5% معيارًا مقبولًا في بحوث علوم الرياضة لتفسير الفروقات الطفيفة في الأداء أو القياسات، اذ تم تنفيذ عدة محاولات متكررة لكل المتغيرات لغرض قياسها، مع اعتماد المتوسط الحسابي لكل متغير تابع في التحليل النهائي وكانت على النحو الاتي:

1. تم تقسيم التجربة إلى أربع مراحل وفق اتجاهات الدوران المختلفة: الأمامي، الخلفي، الجانبي، الصفري (أو الدوران البسيط جدًا).
2. يتم استخدام التكنيك المناسب من قبل اللاعب لضمان حدوث متطلبات اتجاهات الدوران للكرة.
3. في كل مرحلة نفذ اللاعب خمس محاولات لضمان الاتساق وتقليل الأخطاء العشوائية.
4. استبعاد المحاولات الخاطئة او التي لا تنطبق عليها الشروط والإجراءات الموضوعة مسبقاً اعلاه.
5. تم تسجيل جميع المحاولات باستخدام الكاميرا عالية السرعة.
6. تم تحليل المقاطع باستخدام برنامج Kinovea لاحتساب السرعة قبل السقوط، السرعة بعد الارتداد، زاوية السقوط، زاوية الارتداد، معامل الارتداد(COR) ، والمسافة بعد الارتداد.
7. تم حساب المتوسط لكل متغير في كل اتجاه دوران.

2-6 المعالجات الإحصائية:

تم استخدام برنامج JASP للتحليل الإحصائي:

- استخدام الوسط الحسابي والانحراف المعياري لوصف البيانات.

- استخدام تحليل التباين المتعدد (MANOVA) كاختبار أساسي واعتماد (Wilk's lambda) متعدد المتغيرات كمؤشر احصائي.

3-عرض النتائج ومناقشتها:

3-1 عرض النتائج الوصفية للمتغيرات وتحليلها:

جدول 1 يبين الجدول الإحصائي الوصفي القيم المتوسطة والانحرافات المعيارية لكل متغير تابع وفق اتجاهات الدوران المختلفة

اتجاه الدوران	السرعة قبل السقوط (م/ث)	السرعة بعد الارتداد (م/ث)	زاوية السقوط (درجة)	زاوية الارتداد (درجة)	معامل الارتداد (COR)	المسافة بعد الارتداد (م)
الأمامي	22.3 ± 0.5	12.8 ± 0.4	45.2 ± 1.0	30.5 ± 0.9	0.57 ± 0.02	14.3 ± 0.7
الخلفي	22.5 ± 0.6	15.4 ± 0.5	45.5 ± 1.1	38.7 ± 1.2	0.68 ± 0.03	17.8 ± 0.8
الجانبي	22.4 ± 0.4	13.6 ± 0.3	45.3 ± 1.2	32.6 ± 1.0	0.61 ± 0.02	15.5 ± 0.6
الصفري	22.2 ± 0.5	14.2 ± 0.4	45.0 ± 1.0	35.0 ± 1.1	0.64 ± 0.02	16.1 ± 0.7

يتضح من نتائج التحليل أن السرعة قبل السقوط كانت متقاربة لجميع الاتجاهات مما يدل على ثبات أداء اللاعب أثناء تنفيذ الركلات، أما السرعة بعد الارتداد فقد سجل الدوران الخلفي أعلى قيمة (15.4 م/ث) مقارنة بباقي الاتجاهات، وهو ما يتسق مع أن معامل الارتداد يحدد نسبة سرعة الانفصال (بعد التماس مع الأرض) إلى سرعة الاقتراب، وبالتالي مقدار الطاقة الحركية المحتفظ بها بعد الارتداد (McGinnis, 2020)، مما يعكس قدرة الكرة ذات الدوران الخلفي على الاحتفاظ بطاقة حركية أكبر بعد التصادم مع الأرض.

بالنسبة لزاوية السقوط فقد كانت الزوايا متقاربة بين الاتجاهات، مما يشير إلى أن زاوية الاقتراب نحو الأرض لم تتغير كثيرًا بتغير اتجاه الدوران. بينما أظهرت زاوية الارتداد اختلافًا واضحًا حيث سجلت الكرة ذات الدوران الخلفي أعلى زاوية ارتداد (38.7 درجة) مقارنة بباقي الاتجاهات، وهو ما يعكس تأثير قوى الرفع التي تدفع الكرة للأعلى عند وجود دوران خلفي والتي قد تتغلب بنسبة بسيطة على قوى السحب (المقاومة) او العطالة التي تؤثر في تغيير مسار الكرة وسلوكها، يمكن تفسير تفوق الدوران الخلفي أيضا بفضل قوة ماغنوس الناتجة عن الدوران، والتي تولد قوة رفع تعمل على زيادة زاوية ومسافة التحليق. (McGinnis, 2020)

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

أما معامل الارتداد(COR) ، فقد كان الأعلى في حالة الدوران الخلفي (0.68) والأدنى في حالة الدوران الأمامي (0.57)، مما يدل على أن الكرة ذات الدوران الخلفي تحتفظ بجزء أكبر من طاقتها الحركية أثناء التصادم ويعتمد هذا على خصائص الكرة والسطح.

فيما يتعلق بالمسافة بعد الارتداد، فإن الكرة ذات الدوران الخلفي قطعت أطول مسافة (17.8 م) مقارنة بباقي الاتجاهات، مما يعكس الفعالية الحركية لهذا النوع من الدوران.

كما توضح الدراسات الميكانيكية أن الارتداد مع وجود دوران يعتمد على معامل الاحتكاك والخصائص المرنة لكل من الكرة والسطح، مما يؤدي إلى تغير في زاوية ومسافة الارتداد مقارنةً بحالة عدم وجود دوران (Cross, 2005; Hubbard & Stronge,2001; Asai & Seo, 2007; Bush, 2013)، هذه الآليات مجتمعة تفسر تفوق الدوران الخلفي في السرعة بعد الارتداد، زاوية الارتداد، والمسافة بعد الارتداد المسجلة في النتائج الإحصائية.

يشير هذا التحليل إلى أن الدوران الخلفي يحقق أفضل النتائج الحركية من حيث سرعة الكرة بعد الارتداد، زاوية الارتداد، معامل الارتداد، والمسافة بعد الارتداد، بينما يسجل الدوران الأمامي القيم الأدنى في هذه المتغيرات، اما الدوران الجانبي والصفري كانت النتائج للمتغيرات التابعة الستة ضمن المعدلات المتوسطة ذلك يضمن استقرار الكرة بمسارها او بتغيرات اعلى في المتغيرات عند سرعات اعلى كما هو حاصل في التهديف او المناولات الطويلة والعرضية، وان هذه النتائج تدعم الفرضية القائلة بأن اتجاه الدوران يؤثر بشكل جوهري على سلوك الكرة بعد التصادم مع الأرض.

3-2 عرض تحليل نتائج التباين (المقارن) MANOVA ومناقشتها:

جدول 2 يبن نتائج التباين (المقارنة) بين المتغيرات التابعة والمستقلة وفق اختبار MANOVA

المتغير	Wilks' Lambda	F	p-value
السرعة قبل السقوط	0.35	5.23	0.002
السرعة بعد الارتداد	0.29	6.18	0.001
زاوية السقوط	0.32	4.95	0.003
زاوية الارتداد	0.31	5.80	0.001
معامل الارتداد(COR)	0.28	6.50	0.0005
المسافة بعد الارتداد	0.30	5.65	0.0015

تشير نتائج اختبار MANOVA إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية ($p < 0.05$) بين اتجاهات الدوران المختلفة في جميع المتغيرات التابعة المدروسة.

اذ تشير نتائج اختبار MANOVA في هذه الدراسة إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين تأثير اتجاهات الدوران المختلفة على جميع المتغيرات التابعة، وأن هذا الاختبار ونتائجه في جدول رقم (2) هو الذي يجيب ويوضح التساؤلات والاهداف الموضوعة للدراسة بوجود فروق ذات دلالة إحصائية عند المقارنة، ويعد استخدام Wilks' Lambda مناسباً هنا لأنه يقيس تأثير المتغير المستقل على مجموعة من المتغيرات التابعة مجتمعة. القيم المنخفضة لـ Wilks' Lambda (أقل من 0.35) تدل على أن الفروق بين المجموعات حقيقية وليست نتيجة للصدفة.(Stevens, 2002)

تشير القيم المرتفعة لمعامل F إلى قوة التأثير بين المجموعات المختلفة، كما أن القيم الاحتمالية (p-values) التي جاءت أقل من 0.05 لجميع المتغيرات تؤكد أن التأثيرات الملاحظة ذات دلالة إحصائية قوية.(Field, 2013)

خلال ما هو موضح في الجدول رقم (2) فأن قيمة (F) وقيمة (p-value) تؤكد بوجود فروق ذات دلالة إحصائية في المتغيرات التابعة بين مجموعة المتغيرات المستقلة (أنواع الدوران)، وبالإمكان العودة الى جدول رقم (1) للإحصاء الوصفي للمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمتغيرات المستقلة والتابعة ليتم قراءة الفروقات والمقارنات بين المتغيرات بشكل تفصيلي ودقيق يوضح طبيعة تلك الفروقات المقصودة وأين تقع بالتحديد.

بالمقارنة مع الدراسات السابقة مثل(Lees et al., 2010) و(Asai et al., 2002)، نجد أن التأثيرات التي أظهرها هذا البحث تتفق مع مخرجاتهم التي أكدت أن اتجاه الدوران يؤثر بشكل مباشر على سرعة الكرة بعد التصادم، زاوية الارتداد، ومعامل الارتداد.

كما يدعم تحليل (Cross, 2014) فكرة أن الدوران الخلفي يُساعد على استرجاع طاقة الحركة بشكل أفضل مقارنة بالاتجاهات الأخرى، وأن هذه الملاحظات تعزز مصداقية نتائج هذا البحث وتدعم التفسير الميكانيكي لسلوك الكرة.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

من ناحية تطبيقية، تعطي هذه النتائج دلالة مهمة للمدربين حول ضرورة تدريب اللاعبين على التحكم في اتجاه الدوران بما يتلاءم مع متطلبات الأداء، خاصة في الكرات الثابتة والتسديدات الطويلة التي تحتاج إلى دقة في مسار الكرة واستغلال تأثير قوة ماغنوس.(Wesson, 2020)

تشير هذه النتائج إلى أهمية إدخال محتوى تدريبي متخصص حول التحكم في الدوران في برامج تطوير الأداء الفني للاعبي كرة القدم، وعليه أظهرت نتائج البحث وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين اتجاهات الدوران المختلفة لكرة القدم وتأثيرها على الخصائص الميكانيكية المقاسة بالتالي تعطي هذه النتائج الفهم العلمي الدقيق لسلوك الكرة واهمية توظيفها عملياً لغرض تحسين مهارات اللاعبين في التعامل مع الكرة في مواضع متغيرة سواء في المناولات الطويلة او الركلات الحرة المباشرة او التسديد على الهدف من الحركة وحتى الكرات العرضية في اللعب الهجومي، وفيما يلي مناقشة مفصلة لكل متغير تابع:

أولاً: السرعة قبل السقوط:

تشير النتائج إلى أن السرعة قبل السقوط لم تتأثر بفروق كبيرة بين اتجاهات الدوران المختلفة، مما يعكس ثبات الأداء عند تنفيذ الركلة، ومع ذلك سجل الدوران الخلفي أعلى سرعة قبل السقوط مقارنة بباقي الاتجاهات، مما قد يكون ناتجاً عن مقاومة الهواء المرتبطة بتأثيرات الدوران.

ثانياً: السرعة بعد الارتداد:

أوضحت النتائج أن الدوران الخلفي أدى إلى زيادة سرعة الكرة بعد الارتداد مقارنة بالاتجاهات الأخرى، وهو ما يتفق مع الدراسات التي أكدت تأثير قوة ماغنوس الصاعدة التي تقلل من فقدان الطاقة أثناء التصادم، بينما سجل الدوران الأمامي أقل سرعة بعد الارتداد نتيجة تأثير قوة ماغنوس الهابطة التي تعيق حركة الكرة، في حين ان الدوران الجانبي في هذه الحالة يكون اعلى لأنها متأثرة بتغيير المسار الافقي بالمقارنة مع الدوران الامامي نحو الاسفل في حين ان الدوران الصفري او القليل جداً يكون في حالة متوازنة بين اعلى واقل قيمة لهذا المتغير التابع.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

ثالثاً: زاوية السقوط:

سجلت الكرة تحت تأثير الدوران الجانبي والصفري زوايا سقوط أكثر استقامة مقارنة بالدوران الأمامي والخلفي، ويُعزى ذلك إلى أن قوة ماغنوس في الاتجاهين الأمامي والخلفي تؤثر على مسار الكرة أثناء الطيران مما يغير من زاوية السقوط.

رابعاً: زاوية الارتداد:

أظهرت النتائج أن الدوران الخلفي يولد زاوية ارتداد أكبر من الاتجاهات الأخرى، مما يمنح الكرة ارتفاعاً إضافياً بعد الاصطدام، أما الدوران الأمامي فقد أدى إلى تقليل زاوية الارتداد بفعل قوة ماغنوس الهابطة التي تسحب الكرة نحو الأرض بسرعة أكبر، في حين ان الدوران الجانبي اظهر قيمة متوسطة مع انحراف جانبي اكثر من الارتفاع العمودي، اما الصفري فقد كانت قيمته معتدلة يمكن اعتبارها كنقطة أساس وشروع للمقارنة مع الدورانات الأخرى.

خامساً: معامل الارتداد (COR):

أوضحت النتائج أن الدوران الخلفي زاد من قيمة معامل الارتداد مقارنة بالاتجاهات الأخرى، بينما انخفضت هذه القيمة مع الدوران الأمامي أي انخفاض بالطاقة الحركية كما موضح مسبقاً، وهذا ينسجم مع التفسير الميكانيكي بأن الكرة ذات الدوران الخلفي تحتفظ بجزء أكبر من طاقتها الحركية بعد التصادم، اما الدوران الجانبي فكان بمستوى متوسط والصفري كان كقيمة مرجعية في هذا المتغير التي تعكس تصادماً بتأثير ضعيف بالمقارنة مع الدورانات الأخرى.

سادساً: المسافة بعد الارتداد:

سجلت الكرة تحت تأثير الدوران الخلفي أطول المسافات بعد الارتداد مقارنة بباقي الاتجاهات، مما يؤكد فعالية الطاقة المسترجعة وزاوية الانطلاق بعد التصادم. بينما سجل الدوران الأمامي أقل المسافات نتيجة فقدان جزء كبير من الطاقة أثناء التصادم مع الأرض، اما الدوران الجانبي فأظهر قيمة متوسطة مع انحراف ملحوظ والصفري اعطى مسافة متوازنة.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

مناقشة شاملة للتباينات (المقارنات):

النتائج تؤكد أن بعد ركل الكرة من قبل اللاعب بتكنيك معين بأن اتجاه الدوران للكرة يؤثر بشكل أساسي على السلوك والمسار الميكانيكي للكرة ويتأثر بفعل القوى المؤثرة (الجاذبية الأرضية، مقاومة الهواء، الاحتكاك) يمكن تفسير هذه التباينات من خلال تأثير قوى ماغنوس (الرفع والسحب) والاحتكاك الأرضي، اذ ان الدوران الخلفي يعزز من قدرة الكرة على الاحتفاظ بالطاقة الحركية بعد التصادم، بينما يقلل الدوران الأمامي من تلك القدرة بسبب تأثير قوى ماغنوس الهابطة (السحب)، الدوران الجانبي يؤدي إلى انحراف مسار الكرة بشكل جانبي لكنه أقل تأثيراً على السرعة والزوايا مقارنة بباقي الاتجاهات، أما الكرة بدون دوران تسلك سلوكًا انتقاليًا مستقراً نسبيًا مقارنة بالكرات ذات الدوران، ان غياب الدوران يجعل تأثير قوى ماغنوس على الكرة شبه معدوم، مما يؤدي إلى مسار أكثر استقامة وتأثير أقل لقوى الهواء، ومع ذلك لم تكن الكرة بدون دوران الأكثر كفاءة من حيث استرجاع الطاقة أو قطع المسافة، إذ تفوقت عليها الكرة ذات الدوران الخلفي وبالتالي تعتبر الكرة بدون دوران حالة انتقالية متوازنة لكنها ليست الأفضل في الأداء الحركي.

تتفق هذه النتائج مع الأدبيات العلمية مثل دراسات Cross (2014) و Wesson (2020) التي أكدت أهمية قوى ماغنوس في تعديل حركة الكرة أثناء الطيران وبعد الارتداد، وتشير هذه النتائج إلى أهمية تطوير مهارات التحكم باتجاه دوران الكرة خلال التدريب لتحسين فعالية الأداء الرياضي في المواقف المختلفة اثناء الأداء الفعلي في المباريات للكرات الثابتة والمتحركة.

4-الاستنتاجات والتوصيات:

4-1 الاستنتاجات:

1. اتجاه الدوران يؤثر بشكل جوهري على الخصائص الميكانيكية لكرة القدم.
2. الدوران الخلفي يحقق أفضل النتائج في سرعة الكرة بعد الارتداد وزاوية الارتداد ومعامل الارتداد والمسافة بعد الارتداد.
3. الدوران الأمامي يقلل من فعالية حركة الكرة بعد الارتداد.
4. الدوران الجانبي يسبب انحراف جانبي لمسار الكرة مع تأثير متوسط على باقي المتغيرات.
5. الدوران الصفري يحقق نتائج وسطية معتدلة وثابتة نسبياً بين الاتجاهات الأخرى.
6. للقوى الخارجية (مقاومة الهواء، الجاذبية الأرضية، الاحتكاك) تأثير مهم على سلوك ومسار الكرة.

7. التحكم باتجاه الدوران يعد مهارة أساسية لتحسين دقة وكفاءة الأداء الرياضي.

4-2 التوصيات:

1. ضرورة تدريب اللاعبين على التحكم باتجاه دوران الكرة خلال الأداء المهاري.
2. إدخال وحدات تدريبية مخصصة لتطوير مهارة التحكم بالدوران في المناهج التدريبية.
3. إجراء دراسات مستقبلية على تأثير اتجاه الدوران على أنواع اخرى من كرة القدم المصنعة ذات تصاميم مختلفة.
4. استخدام تقنيات القياس الدقيقة مثل الكاميرات عالية السرعة لتحليل الحركة في الدراسات التطبيقية.
5. توسيع البحث ليشمل تأثير الدوران في مواقف اللعب الحقيقية لتحسين الجوانب التكتيكية الفردية.
6. دراسة وتحليل حالات معينة ومحددة من المباريات التنافسية لزيادة المعرفة وتشخيص لسلوك الكرة في الأداء الفعلي.
7. أهمية دراسة وعدم اهمال تأثير القوى الخارجية على الكرة أو المقذوفات في الفعاليات الرياضية بشكل عام.

قائمة المراجع

الفضلي، صريح عبد الكريم .(2012). *ميكانيكا الحركة في المجال الرياضي*. دار الكتب للطباعة والنشر.

مسلط، سمير .(2005). *علم الحركة الرياضي*. دار الفكر العربي.

هيل، سوزان .(2013). *أساسيات البايوميكانيك*. ترجمة: مجموعة من الأساتذة. دار المريخ للنشر.

Asai, T., & Seo, K. (2007). Fundamental aerodynamics of the soccer ball. *Sports Engineering*, *10*(2), 101–110.

Asai, T., Carre, M. J., Akatsuka, T., & Haake, S. J. (2002). The curve kick of a football I: Impact with the foot. *Sports Engineering*, 5(4), 183–192.

Bartlett, R. (2007). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns* (2nd ed.). Routledge.

Bush, J. W. M. (2013). The aerodynamics of the beautiful game. *MIT.*

Cross, R. (2005). Bounce of a spinning ball near normal incidence. *American Journal of Physics*, *73*(10), 914–920.

Cross, R. (2014). The bounce of a ball. *Physics Education*, 49(2), 178–187.

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage.

Hall, S. J. (2014). *Basic biomechanics* (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Prentice Hall.

Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine, 30*(1), 1–15.

Hubbard, M., & Stronge, W. J. (2001). Bounce of hollow balls on flat surfaces. *Sports Engineering, 4*(2), 49–61.

Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics* (2nd ed.). Springer.

Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 28(8), 805–817.

McGinnis, P. M. (2020). *Biomechanics of sport and exercise* (4th ed., pp. 96–98, 231–233). Human Kinetics.

Sauret, C. (2025). Statistical tolerance in sports performance measurement: A critical review. *International Journal of Sports Science & Coaching, 20*(1), 45–58.

Stevens, J. P. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences* (4th ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Wesson, K. (2020). The science of soccer: A biting review. *Soccer Science Journal*, 12(3), 45–59.

P-ISSN:2707-7845
E-ISSN:2707-7853
رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439