

"تصميم وتصنيع جهاز باستخدام شبكة الليزر لرصد وتتبع المسار الحركي

للكرات كمقذوف لقياس بعض الخصائص الميكانيكية"

***أ. د / عادل إبراهيم أحمد ، **أ.م. د/ خالد عبد الموجود عبد العظيم ، * م / احمد عبد العزيز سيد
 *** أستاذ - قسم التدريب الرياضي وعلوم الحركة - كلية التربية الرياضية - جامعة أسيوط - مصر ** أستاذ مساعد -
 قسم التدريب الرياضي وعلوم الحركة - كلية التربية الرياضية - جامعة أسيوط - مصر * معيد - قسم الكهرباء - كلية
 الهندسة - جامعة أسيوط- مصر.

ملخص : تعد السرعة والقوة ودقة التصويب من أهم المتغيرات الميكانيكية التي تميز انطلاق الكرات كمقذوف ، ونظراً لأن الأداء يتصف بالسرعة العالية في حين أن القدرات البشرية ذاتية ومحدودة، لذا وجب علينا القياس بشرط الانتقال من عدم الموضوعية والذاتية المحدودة باستخدام الاختبارات التقليدية إلى الموضوعية في القياس ، وعلى الرغم من وجود بعض النظم التكنولوجية الحديثة المعتمدة على الكاميرا الرقمية في الرصد والقياس إلا أن هناك بعض المشكلات والتي منها [المعايير ، سرعة تردد الكاميرا ، مساحة التصوير المحدودة] ، لذا يهدف البحث إلى تصميم وتصنيع جهاز كنموذج أولى باستخدام شبكة الليزر لرصد وتتبع المسار الحركي للكرات المقذوفة ، وقد توصل الباحثين إلى مجموعة من النتائج من أهمها قدرة الجهاز على قياس دقة تصويب الكرة من خلال تحديد موقعها بدقة فائقة على لوحة الهدف وهي مقسمة إلى ٦٤ وحدة ، حيث تبلغ مساحة الوحدة ١٢.٥ سم² × ١٢.٥ سم². والقدرة على قياس السرعة المتوسطة الخطية للكرة باستخدام شبكة الليزر حيث يمكن للجهاز قياس سرعات فائقة قد تصل إلى ٣٦٠ كيلو متر / الساعة، أي ما يعادل ١٠٠ متر في الثانية الواحدة.

مقدمة ومشكلة البحث :-

ما إن أصبح المجال الرياضي بمختلف أنشطته ميداناً خصباً للتطبيقات التكنولوجية المستحدثة حتى تسارعت مستويات إنجازاته في أطراد مستمر ووجدت النخبة نفسها في سباق دائم مع التطوير الذي اندفعت عجلة تقدمه بتأثير من الزخم الذي اكتسبه نتيجة اعتماده على الأساليب العلمية في القياس والتخطيط والتنفيذ مستعيناً بالعديد من الأجهزة والأدوات عالية الموضوعية بالغه الدقة والتي تعمل على تقييم الأداءات الحركية داخل الأنشطة الرياضية المتنوعة.

وان الأساس في تحليل الأداءات الحركية يكمن في تسجيل وتتبع مسار حركة جسم ما أثناء أداءه المهارة تسجيلاً دقيقاً، حيث تنسب حركته لنقطه رصد ثابتة، بهدف تحديد المسارات الهندسية للجسم أو أجزائه من ناحية وزمن الأداء من ناحية أخرى ثم حساب متغيراته [١ - ٤٠٦]

لذا تركز مشكلة البحث الحالية على ثلاث محاور هي :

- الحاجة للقياس مع نقل التكنولوجيا الصناعية.
- التصوير الرقمي ومشكلات رصد مسار الكرات .
- شبكة الليزر وتتبع المسار الحركي للكرات .

المحور الأول لمشكلة البحث هو الحاجة للقياس مع نقل التكنولوجيا الصناعية حيث يقول لورد كلفن "عندما تكون قادراً على القياس والتعبير بالأرقام عن الشيء الذي تتحدث عنه عندئذ ملاماً بعض الشيء بالموضوع". ومن المعلوم أن قدرات الإنسان الذاتية محدودة ولكي يزيد الإنسان من قدراته ويوسع إمكانياته كان لا بد له من أن يخترع كثيراً من الأجهزة العلمية التي تساعد على فهم ودراسة الأشياء والظواهر المحيطة به ، ومن أهم الأجهزة التي ساعدت الإنسان على التوصل إلى حقائق الأشياء هي أجهزة القياس التي تطورت تطوراً هائلاً في إطار التطور الصناعي الضخم ، وهنا يرى الباحثين أن الاختراعات تبني بالأساس على الاحتياج ولكي نشبع الاحتياج المتزامن مع قلة الإمكانيات المادية ، فلا بد من نقل التكنولوجيا الصناعية في مجال القياس . حيث يعد

الهدف من نقل التكنولوجيا المتطورة وتطويرها في مجال التخصص هو التحول من الذاتية المحدودة المعتمدة على الاختبارات التقليدية في مجال القياس ، والانتقال من عدم الموضوعية إلى الموضوعية، وهكذا تفعل كل الدول المتقدمة ومراكز البحوث والمعامل الرياضية في العالم الأوروبي .

لذا تستثمر شركات تصنيع المعدات الرياضية مبالغ كبيرة من المال والوقت في الأبحاث المطبقة عن الكرات الرياضية وكيفية تطويرها ، وذلك باستخدام المواد والتركيبات المتقدمة في محاولة لتصنيع كرة تتميز بخصائص طيران أو خصائص تأثير عالية . ولكي نتمكن من تطوير الكرات الرياضية ، يجب التأكد من دقة انطلاق الكرة وخصائصها الميكانيكية . من اجل ذلك تستخدم شركات تصنيع المعدات الرياضية حالياً مجموعة كبيرة من الأنظمة لقياس ورصد هذه المتغيرات (الدقة - الخصائص الميكانيكية) ، مما يتيح المقارنة المباشرة بين المنتجات [٨ - ١]

ومن تلك الأنظمة المستخدمة كاميرات التصوير الرقمية حيث تتطلب عملية التصوير وتحليل الأداءات الحركية إجراءات كثيرة منها ما يتعلق بإعداد وتجهيز الأداة المستخدمة بشكل دقيق وبعلامات ضابطه (Reflectors) ومنها ما يتعلق بمعايرة الموقع محدود المساحة ضماناً لصحة البيانات المستنتجة ، ويتطلب ذلك متخصصاً على درجة عالية من الكفاءة والخبرة ، كما يستغرق ذلك فترة زمنية كبيرة حيث يراعى في ذلك تحديد أماكن وضع الكاميرات ولها مواصفات خاصة والتي منها جودة ونقاء الصورة وهي لها تأثير على رؤية ورصد مسار النقطة المتحركة في الفراغ ، ومن المشكلات التي يواجهها القائم على التحليل هي مشكلة رصد وتتبع مسار الكرات نظراً للسرعة الخطية والدورانية العالية وعدم ثبات نقاط الرصد، لذا يجب مراعاة سرعة تردد الكاميرا والتي يجب أن تتناسب مع سرعة الحركة المرصودة حيث يشير (Challis et all) إن التردد المستخدم يجب أن يكون ضعف تردد أو سرعة الحركة المنفذة ، حيث يجب أن يتراوح تردد الكاميرا من (٨ إلى ١٠) أضعاف تردد الحركة المرصودة ، فعند تصوير حركة مثل ضرب الكرة بالقدم شكل (١) فان ذلك يتطلب سرعة تردد لا تقل عن ١٠٠٠ صورة في الثانية الواحدة حتى نستطيع رصد مسار الكرة [٢ - ٥٣]. وإن مثل هذه النوعية من الكاميرات يصعب توافرها بمعامل الميكانيكا الحيوية لكونها باهظة الثمن. بالإضافة إلى عدم القدرة على التصوير أثناء المنافسات الرياضية الفعلية.



شكل [1] تردد الكاميرا

ويعد المحور الأول والثاني السبب الرئيس الذي دفع الباحثين لمواكبة التقدم من خلال نقل التكنولوجيا مع التفكير في إيجاد سبيل أو مخرج للتغلب على ما سبق عرضه من مشكلات تتعلق بالتصوير الرقمي احد انظمه القياس المستخدمة ، ومحاولة البحث والتنقيب في نظم التكنولوجيا الحديثة عن وسيلة جديدة غير تقليدية تمتاز بالقدرة الفائقة على رصد المسار الحركي للكرات كمقذوف . حيث ظل الباحثين عاكفين على البحث إلى أن اهتموا إلى المحور الثالث وهو استخدام شبكة الليزر وتوظيفها في رصد وتتبع المسار الحركي للكرات المقذوفة في المجال الرياضي مثل (كرة اليد)، حيث تعد قوة وسرعة انطلاق الكرة ودقة التصويب من أهم الخصائص الميكانيكية التي تتميز بها تلك الرياضات . حيث أشارت دراسات عدده كدراسة رقم (٣، ٤، ٥، ٦) إلى أن زيادة سرعة الكرة يقلل من الزمن الذي يستعد فيه المنافس لإعادة الكرة بنجاح ، الأمر الذي دفع المدربين بالاهتمام بالإعداد البدني والتقني والتكتيكي للاعبينهم . حيث تشير دراسة رقم (٧) إلى ضرورة قياس سرعة الكرة ودقتها مع متابعة تطور تلك المتغيرات خلال تطور مستوى الرياضي حتى يمكن المقارنة مع النخبة من المستويات العليا . لذا يطرح الباحثين نموذج جديد في هندسة الليزر الذي تصل سرعة الرصد إلى ما يقرب من سرعة الضوء حيث تصل سرعة التقاط الصورة إلى ٣٨٠ كيلو في الساعة أي ما يعادل ١٠٠ متر في الثانية

الواحدة، وهي تساوى تردد ٢٠٠٠ قراءة في الثانية الواحدة . فضلاً على القدرة على رصد الكرة بدون وضع عاكس رصد (tracking markers) من خلال بناء برمجية (GUI software) لديها القدرة على تحديد موقع الكرة مع رصد مسارها في الفراغ وإعطاء التقرير الفوري (real time) ومن ثم التغذية الرجعية، ومن جانب آخر تقليل التكاليف المادية الباهظة عند بناء نظام يعتمد على الكاميرات الرقمية .

هدف البحث :-

يهدف البحث إلى "تصميم وتصنيع جهاز باستخدام شبكة الليزر لرصد وتتبع المسار الحركي للكرات كمقذوف لقياس بعض المتغيرات الميكانيكية"

تساؤلات البحث :-

- ما هو التصميم الهندسي الأمثل لشبكة الليزر المستهدف كنموذج أولى ؟
- كيف يمكن التحقق من دقة معايرة جهاز شبكة الليزر وفقاً للتصميم الهندسي المستهدف ؟
- ما مدى قدرة الجهاز والبرمجية المقترحة على رصد مسار الكرات وقياس مقادير بعض الخصائص الميكانيكية (السرعة المتوسطة الخطية ، القوة المتوسطة الخطية ، دقة التصويب) للكرات المقذوفة ؟

منهج البحث :

- استخدم الباحث المنهج الوصفي (دراسة الحالة) نظراً لملائمته لطبيعة ومعالجة مشكلة البحث، إذ يهتم هذا المنهج بوصف الظاهرة المدروسة بشكل دقيق ، ويعبر عنها كمياً أو نوعياً ، والتعبير الكمي يعطى وصفاً رقمياً يوضح تلك الظاهرة وبين درجة ارتباطها مع الظواهر الأخرى .
- استخدم الباحثان المنهج التجريبي ، بهدف إجراء التطبيقات العملية لعينة البحث ، للتأكد من صدق القيم المحسوبة للجهاز والبرمجية المقترحة على رصد مسار الكرات المقذوفة والقاطعة لأشعة الليزر.

عينة البحث :-

تم اختيار عينة البحث بالطريقة العمدية والتي مثلت في عدد (٤) لاعبين في رياضة كرة اليد مواليد (١٩٩٨ م) مرتبط بنادي بترول أسيوط بغرض إجراء التطبيقات العملية وحساب المقادير الكمية لبعض الخصائص الميكانيكية (دقة التصويب ، السرعة المتوسطة الخطية - القوة المتوسطة ،) لمسار الكرات كمقذوف.

أدوات جمع البيانات :-

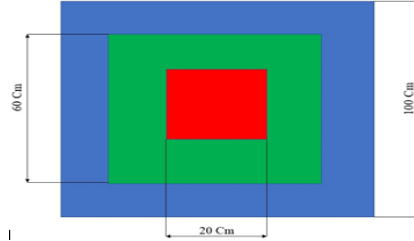
- برنامج رسم هندسي (solid work)
- أشعة الليزر laser detector KY-008 .
- ميزان طبي لقياس الوزن بوحدة قياس (كجم).
- وحدة تحكم مركزية (microcontroller)
- رستا ميتر لقياس الطول بوحدة قياس (سم).
- (GUI software) - جهاز كمبيوتر

عرض النتائج وتفسيرها :-

- يشير التساؤل الأول على : ما هو التصميم الهندسي الأمثل لشبكة الليزر المستهدف كنموذج أولى ؟

أولاً: الهدف الرئيسي من التصميم :

يعد الهدف الرئيسي من تصميم إطار الليزر هو حساب البيانات الرئيسية اللازمة للتحليل الحركي . هذه البيانات هي موضع الكرة داخل الإطار وحساب السرعة الخطية للكرة المقذوفة . من هذين القياسين الرئيسيين يمكن حساب القوة بمعلومية كتلة الكرة المستخدمة في الاختبار. ويظهر شكل (٢) اللوحة التي صممت لتكون الهدف الذي يتم التصويب عليه. حيث يقوم اللاعب برمي الكرة وسوف يقوم الجهاز والبرمجية المقترحة بتقدير الموقع على هذه اللوحة المصممة ، وسوف يتم تقدير القوة رياضياً في ضوء القياسين السابقين.



شكل [٢] إطار تحديد موقع الكرة

تصميم طبقة الجهاز :

الفكرة الرئيسية هي تصميم إطار يتم تثبيته فوق اللوحة التي تصطدم بها كرة اليد . حيث تم تصميم الإطار لإنتاج شبكة ليزر متصلة بواسطة راصد شعاع الليزر من الجانب الآخر . حيث يتم تحقيق ذلك عن طريق الصفوف والأعمدة المصنوعة من مصدر الليزر ومستقبل الليزر الذي تم وضعه على طول الإطار بمسافات متساوية على طول وعرض أطراف الإطار شكل (٣) . ويجب أن يكون لكل مربع من الشبكة شرطان أساسيين . الشرط الأول ، يجب أن تكون المسافة بين مصدرين من الليزر المتتابعين أو مستقبلات الليزر المتتابعين أقل من قطر الكرة المستخدمة . هذا الشرط يحرص على أنه سيتم دائماً رصد موقع الكرة . الشرط الثاني ، أن تكون ضعف تلك المسافة أكبر من قطر كرة اليد المستخدمة . هذا الشرط يتأكد من أن الكرة لا يمكن اكتشافها بواسطة مربعين مختلفين في كل رمية . حيث يمكن تعريف تلك الشروط بواسطة اثنين من القيود في المعادلة رقم (١) و (٢) .

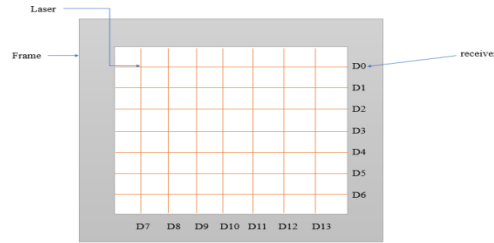
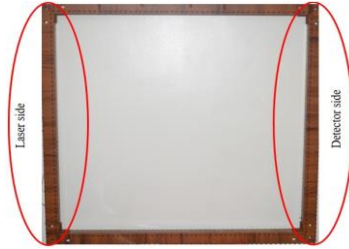
$$X < D \quad \text{Eq [1]}$$

$$2X > D \quad \text{Eq [2]}$$

حيث (X) هي المسافة بين مصدرين من الليزر المتتابعين ، (D) هي قطر كرة اليد .

ثانياً : قياس الموقع :

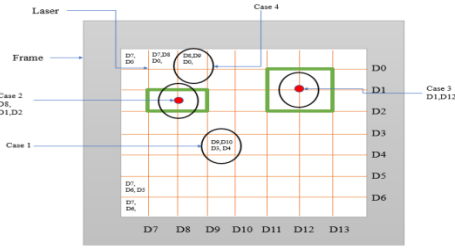
من خلال القيدتين المذكورين أعلاه ، تم تصميم الإطار بحيث يشتمل على ٧ مستشعر (مجسات) ليزر ومستقبل على كل جانب . وتنقسم هذه المجسات لتشكيل ٨ صفوف و ٨ أعمدة . مع هذا الرقم ، أصبحت المسافة بين مصدرين الليزر هي ١٢.٥ سم ، حيث تبلغ أبعاد المربع الواحد ١٢.٥ سم * ١٢.٥ سم² . الشكل (٣) يوضح تصميم الإطار .



شكل [٣] بناء شبكة الليزر

ونتيجة لهذا التصميم وتلك الأبعاد الهندسية أصبح لدينا ٦٤ مربع شكل (٣) يمكن أن تعبر من خلالهما الكرة وتقطع شعاع الليزر ليتم اكتشافها . وقد تم أخذ ٤ حالات لرمى الكرة أثناء تطوير واجهة المستخدم الرسومية . حيث يعرض شكل [٤] هذه الحالات المحتملة ومثالاً على تسلسل مستقبل الليزر في هذه اللحظة . وسوف يتم استخدام هذا الشكل لتحليل الحالات الأربع خلال هذا الجزء . ويجب الإشارة إلى أن جهاز استقبال الليزر يجب أن يكون لديه زمن استجابة مرتفع للغاية مما يؤدي إلى استجابة سريعة وأي نقص في هذا المطلب سيؤدي إلى تقليل عامل الدقة . علاوة على ذلك ، يجب ألا يكون مستقبل الليزر حساساً للضوء الطبيعي (ضوء الشمس ، ضوء المنزل) . إذا كان جهاز الاستقبال حساساً لهذه المصاييح ، فسيؤدي ذلك إلى إنتاج ضوضاء في إشارات الرصد وقد ينتج عن ذلك إشارة مزيفة وغير حقيقية عند رصد وتتبع الليزر بين ما لا توجد وحدة ليزر تستقبلها . علاوة على ذلك ، يجب أن يكون لدى المتلقي القدرة على التفاعل مع المدخلات الرقمية لوحدة التحكم الصغيرة (Arduino) شكل (٥) . هذا يسمح باستقبال الإشارة بصورة ثنائية ، هذا يعني أن الإجابة يمكن أن يكون لها حالتان فقط مرتفعة أو منخفضة ، نعم أو لا ، ونظرًا لأننا نحتاج

بالفعل إلى إجابة سليمة حول حالة جهاز الاستقبال، مثل هل لا يزال المتلقي يرصد ضوء الليزر؟ إذا كانت الإجابة "نعم"، فهذا يعني أن الجسم لم يقطع ضوء الليزر، ولكن إذا كان الجواب "لا"، فهذا يعني أن مسار المستشعر قد تم قطعه بواسطة كرة اليد وبهذه المعلومات من الروايد التي تم قطعها، يمكن تقدير موقع كرة اليد بدقة بواسطة خوارزميات بسيطة. والحالات المذكورة أدناه سوف تعطي رؤية واضحة لمبدأ العمل.



شكل (٤) الحالات المحتملة لعبور الكرة شبكة الليزر



شكل (٥) وحدة التحكم الصغيرة (micro controller)

حيث من [D0 : D13] هي موقع جهاز الاستقبال بينما يظهر الجانب الآخر موقع مصدر الليزر ومن [D0 : D6]. هي وحدات الليزر السبع التي تشكل الصفوف بينما تشكل [D7 : D13] الأعمدة. حيث الصفوف والأعمدة ليست في نفس المستوى يمنع التداخل بين ضوء الليزر المختلفة. علماً بأن المسافة بين الصفوف والأعمدة هي [٥سم]، يتم تعريف كل مربع في الشبكة بواسطة اثنين من سلسلة الصفوف وسلسلة من الأعمدة مثل [D7 D8 D9 D10 D11 D12 D13]، [D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6]. وسوف ترسل هذه السلاسل بواسطة الرقم الثنائي وكل [D] يحتوي على قيمتين فقط (صفر أو ١ صحيح) حيث عندما $D1=1$ هذا يعني أن المتلقي [D1] يرصد ضوء الليزر ولا يوجد جسم يعبر هذا الخط. بينما [D1 = 0]، هذا يعني أن [D1] لا يرصد أي ضوء، أو لا يوجد جسم يقطع مسار الليزر. وسوف يتم عرض أربعة حالات لالتقاط مسار الكرة ومن ثم معرفة السلسلة التي سيتم إرسالها لكل حالة على النحو التالي؟

• الحالة الأولى:

في هذه الحالة، إذا أصابه الكرة مربعاً واحداً فقط كما هو موضح في شكل [5]، فإن السلسلة التي سيتم إرسالها بواسطة وحدة التحكم هي [1110011] للصفوف، [1100111] للأعمدة. مما يعني أنه لا يمكن للمستقبل [D4 و D3] رصد أي ليزر في الصفوف [D9 و D10] في الأعمدة، وبهذه المعلومات الآن يمكن رصد موقع الكرة، وسوف يحدث تقاطع بين الصف الخامس والعمود الرابع. كما سيعمل [GUI] على إضاءة هذه المنطقة.

• الحالة الثانية:

في هذه الحالة، إذا اصطدمت كرة اليد بمربعين وهم (١٨، ١٩) كما هو موضح في شكل [5]، فإن السلسلة التي سيتم إرسالها بواسطة وحدة التحكم هي [1001111] للصفوف، [1011111] للأعمدة. مما يعني أن جهاز الاستقبال D2 و D1 لا يمكن رصد أي ليزر في هذه الصفوف [D9] و [D10] وفي الأعمدة. في هذه الحالة، يُظهر أن إشارة استقبال واحدة فقط منخفضة [0] في سلسلة الأعمدة وأن الكرة تضرب المربعين الذي يكون (D8) كأعمدة مشتركة. في هذه الحالة، سوف تضئ واجهة المستخدم الرسومية الساحتين كمؤشر اصطدام للكرة.

• الحالة الثالثة:

في هذه الحالة، إذا ضربت الكرة النقطة المشتركة بين عدد ٤ مربعات وهم رقم (١٤، ١٥، ٢٢، ٢٣) كما هو موضح في شكل [5]، فإن السلسلة التي سيتم إرسالها بواسطة وحدة التحكم هي [1011111]

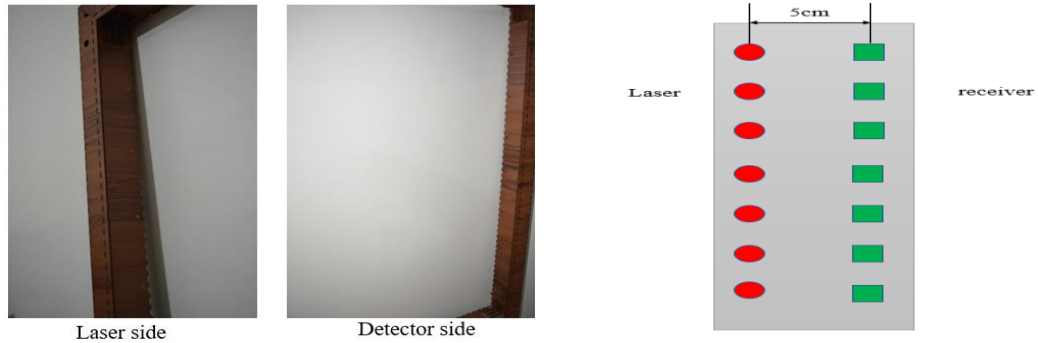
للصفوف و [1011111] للأعمدة . مما يعني أن جهاز الاستقبال D1 لا يمكنه رصد أي ليزر في هذا الصف و D12 في العمود. في هذه الحالة ، يُظهر أن إشارة استقبال واحدة فقط منخفضة [0] في سلسلة الصفوف وسلسلة الأعمدة ، وتضرب الكرة بين المربعات الأربع التي لها (D1) و (D12) كصف وعمود مشترك. في هذه الحالة ، سوف تضيء واجهة المستخدم الرسومية المربعات الأربعة كمؤشر اصطدام للكرة .

• الحالة الرابعة :

في هذه الحالة ، إذا اصطدمت الكرة بالنقاط الخارجية عند الحواف كما هو مبين في شكل [5] ، فإن السلسلة التي سيتم إرسالها بواسطة وحدة التحكم هي [01111111] للصفوف و [10011111] للأعمدة. مما يعني أن جهاز الاستقبال D0 لا يمكنه رصد أي ليزر في هذا الصف و D8 و D9 في الأعمدة. في هذه الحالة ، يظهر أن جميع الحواف المربعة الخارجية تتكون من ثلاثة مستقبلات . يجب تعريف هذه الحالة على أنها مختلفة في الحالة الثانية حيث يوجد في كلتا الحالتين ثلاثة أجهزة استقبال ذات إشارة منخفضة . في هذه الحالة ، سوف تضيء واجهة المستخدم الرسومية مربعاً واحداً فقط كمؤشر للاصطدام بالحواف .

ثالثاً: قياس السرعة :

تتم عملية قياس السرعة عن طريق قياس زمن عبور الكرة المقذوفة بين الصفوف والأعمدة حيث المسافة بين مستقبلات الصفوف تبعد مسافة ثابتة وهي ٥ سم. ويوضح شكل [6] تصميم العرض الجانبي لشبكة الليزر.



شكل [6] شكل جانبي لشبكة الليزر الرسومية والفعلية

عندما يتم رمي الكرة وتقطع شعاع الليزر ، سيتم إرسال المسلسل بواسطة وحدة التحكم إلى واجهة المستخدم الرسومية بما في ذلك وقت إرسال البيانات لمستقبل الليزر إلى كل من الصفوف والأعمدة. ومن خلال رصد لحظة تباين جهاز الاستقبال من الحالة المرتفعة إلى الحالة المنخفضة ومعرفة الزمن الذي يحدث فيه هذا الحدث ، يمكن حساب السرعة بسهولة عن طريق المعادلة رقم [3]:

$$V = \frac{5}{100} \frac{m}{t_{rowsR} - t_{columnR}} \quad \text{Eq [3]} \quad (\text{m/sec})$$

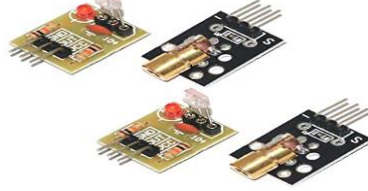
يشير التساؤل الثاني إلى: كيف يمكن التحقق من دقة معايرة جهاز شبكة الليزر وفقاً للتصميم الهندسي المستهدف ؟

نتائج مستشعر وحدة الليزر وواجهة المستخدم الرسومية:

في هذا الجزء ، يتم اختيار أجهزة الاستشعار وأجهزة الكشف بالليزر ، ويتم اختبار المستشعر وفقاً للمواصفات المطلوبة. علاوة على ذلك ، يتم اختبار أداء واجهة المستخدم الرسومية للتأكد من أن الحالات الأربع سابقة الذكر التي تم أخذها في الاعتبار هي تعمل بكفاءة عالية .

أ. وحدة الليزر :-

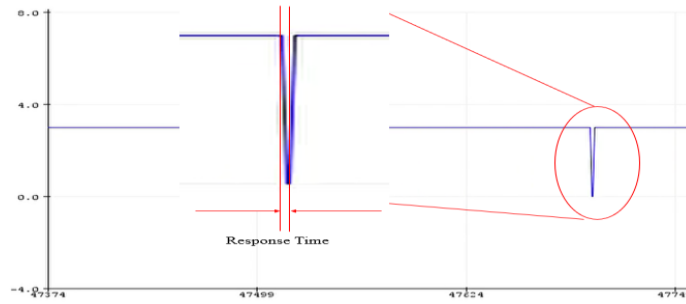
يستخدم متحكم Arduino AT-Mega 2560 لمهمة المعالجة نظرًا لارتفاع عدد المدخلات الرقمية. كما يتم استخدام مستشعر الليزر KY-008 الذي ينتج ليزرًا بطول موجي ٦٥٠ نانو متر مع أجهزة الرواصد التي في نفس نطاق الطول الموجي. وحدة الليزر المستخدمة موضحة في الشكل (٧). وقد تم إجراء اختبارين للوحدة لضمان التشغيل المستقر مع خطأ منخفض قبل اختيار هذا النوع.



شكل (٧) وحدة الليزر KY-008

• حساب زمن الاستجابة :-

في هذا الاختبار، تتم دراسة خاصية زمن الاستجابة لفهم كيف تكون قيمة القياس دقيقة. يمكن تعريف زمن الاستجابة على أنه هو الزمن اللازم لتنتقل الإشارة من الوضع المرتفع إلى الوضع المنخفض بعد أن يُقطع شعاع الليزر بواسطة الجسم المقذوف. يعتبر زمن الاستجابة مصدر خطأ في القياس. على سبيل المثال، إذا كان شعاع الليزر له زمن استجابة قدره dt ، فسيكون المقاس أقل من القيمة الفعلية حيث يتم حسابه عن طريق قسمة المسافة على الزمن. من أجل حساب زمن الاستجابة لوحدة KY-008، يتم اختبار وحدة واحدة بشكل منفصل عن الوحدات الأخرى ويتم بعد ذلك قطع شعاع الليزر بواسطة قطعة من الورق ويتم تسجيل الزمن بين الإشارة من مرتفع إلى منخفض. ويظهر شكل (٨) زمن الاستجابة للاختبار.



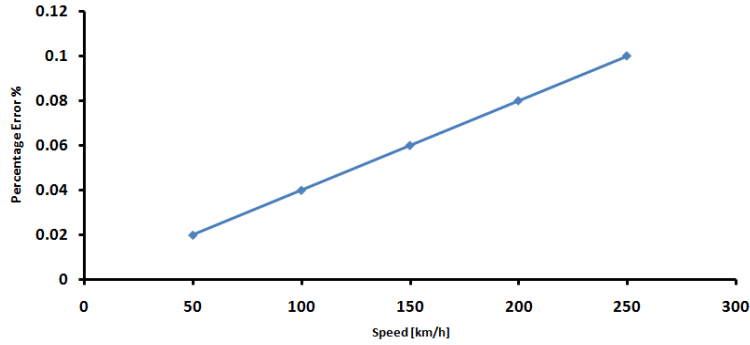
شكل (٨) زمن استجابة وحدة الليزر

وبناءً على ما سبق تم حساب الاستجابة الزمنية لوحدة الليزر، وتم تقدير زمن استجابة المستشعر بحوالي ١ مايكرو ثانية. هذا الزمن سوف يضيف خطأً هذا الخطأ يزداد كلما زادت سرعة الكرة المقذوفة. يوضح جدول (١) الخطأ المضاف زمن الاستجابة بسبب تزايد السرعة.

جدول [1] خطأ حساب زمن الاستجابة

نسبة الخطأ %	السرعة المحسوبة بالمستشعر م/ث	السرعة الفعلية م/ث
0.02	9.998	10
0.04	19.992	20
0.06	29.982	30
0.08	39.968	40
0.1	49.95	50

يوضح جدول (١) السرعة الفعلية والمحسوبة ونسبة الخطأ المضاف بينهما ، حيث عندما تتزايد السرعة الفعلية يقابلها تزايد في نسبة الخطأ المضاف لزمن الاستجابة .



شكل (٩) منحنى النسبة المئوية للخطأ كدالة في السرعة

• تأثير الأشعة المحيطة :-

وحدة الليزر هي نوع يعكس الإشارة . عندما يتم عبور الليزر بواسطة جسم ، يكون الجهد الخارج من وحدة الليزر مرتفعاً وهو يساوي (٣.٣ فولت). خلاف ذلك ، تكون إشارة الخروج منخفضة. نظراً لوجود شعاع الشمس أو شعاع المصابيح أثناء الاختبار ، يجب اختبار الوحدة تحت إشعاعات مختلف لفهم الكمية الحرجة للإشعاعات في الوسائط المحيطة التي تؤثر على شعاع الليزر . لهذا السبب ، يتم قطع الليزر بواسطة جسم مع استخدام مصابيح LED لإنشاء شعاع متغير على راصد الليزر عن طريق تغيير الجهد المطبق على LED. عند الإشعاع الذي يقل عن ١٢٠٠ واط / متر ، يظل جهداً لخروج صفرأً ولا يتأثر الليزر بالإشعاع الخارجي. بينما بعد زيادة الإشعاع فوق النطاق المذكور ، يزيد جهد الخروج بأكثر من ٢.٢ فولت مما قد يترك الوحدة في حالة عالية حتى عندما يتم عبور وحدة الليزر بواسطة الجسم علماً بأن إشعاع الشمس يساوي ١٠٠٠ واط / متر .

ب. اختبار GUI :-

في اختبار واجهة المستخدم الرسومية ، يتم النظر في الحالات الأربع أثناء برمجة واجهة المستخدم الرسومية . يحتوي كل موقع على إشارة تسلسلية مقابلة لوحدة الليزر الخاصة بوحدة التشغيل والإيقاف. يعطي الشكل (١٠) لكل موقع رقمًا في الشبكة ويوضح جدول (٢) الإخراج التسلسلي للصفوف وقيم الكشف بالليزر للعمود.



Laptop and GUI

1	2	3	4	5	6	7	8	D0
9	10	11	12	13	14	15	16	D1
17	18	19	20	21	22	23	24	D2
25	26	27	28	29	30	31	32	D3
33	34	35	36	37	38	39	40	D4
41	42	43	44	45	46	47	48	D5
49	50	51	52	53	54	55	56	D6
57	58	59	60	61	62	63	64	D7
D8	D9	D10	D11	D12	D13			

شكل (١٠) اختبار [GUI] ورقم تعريف الموقع

جدول [٢]. التسلسل الرقمي لرصد الليزر لكل موقع (مربع)

Location number	Columns laser receiver indication							Rows laser receiver indication							Location number	Columns laser receiver indication							Rows laser receiver indication						
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	21	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1		
2	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	22	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0		
3	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	23	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0		
4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	24	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1		
5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	25	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1		
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	26	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	27	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	28	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
9	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	29	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	
10	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	30	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
11	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	31	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
12	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	32	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	
13	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	33	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	
14	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	34	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	
15	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	35	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
16	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	36	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
17	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	37	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
18	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	38	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
19	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	39	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
20	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	40	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1

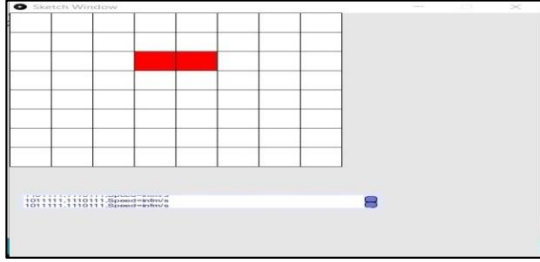
تابع جدول [٢]. التسلسل الرقمي لرصد الليزر لكل موقع (مربع)

Location number	Columns laser receiver indication							Rows laser receiver indication							Location number	Columns laser receiver indication							Rows laser receiver indication						
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
41	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	52	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
42	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	53	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1
43	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	54	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
44	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	55	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
45	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	56	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
46	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	57	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	58	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	59	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	60	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
50	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	61	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
51	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	62	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1

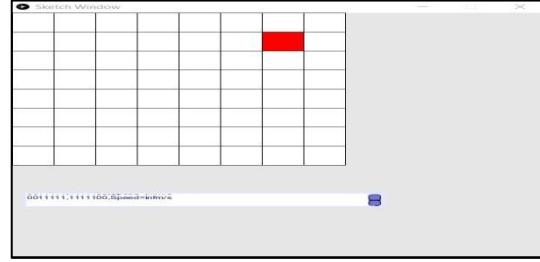
يظهر جدول (٢) الرقم التسلسلي لكل مربع من المربعات ، والتي سيتم إرسال الرقم التسلسلي لها إلى المعالج ومنها GUI، حتى يتم تحديد موقع الكرة على الشاشة الرسومية للبرنامج المصمم .

ج- نتيجة واجهة المستخدم الرسومية [GUI]:

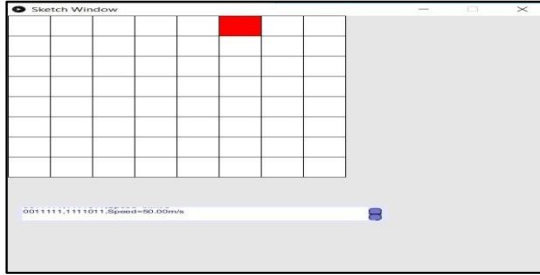
يظهر شكل (١١) الاختبار الفعلي الذي تم إجراؤه لواجهة المستخدم الرسومية لكل حالة، والرقم التسلسلي الذي يتم إرساله إلى المعالج .



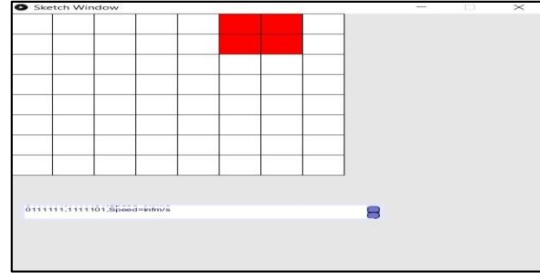
شكل (١١) الحالة الثانية



شكل (١١) الحالة الاولى



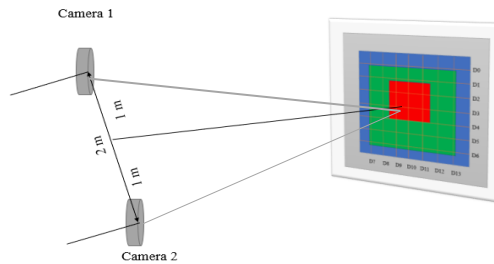
شكل (١١) الحالة الرابعة



شكل (١١) الحالة الثالثة

يشير التساؤل الثالث إلى: ما مدى قدرة الجهاز والبرمجية المقترحة على رصد مسار الكرات وقياس مقادير بعض الخصائص الميكانيكية (دقة التصويب ، السرعة المتوسطة الخطية ، القوة المتوسطة الخطية) للكرات المقذوفة ؟ أولاً: اختبار تقدير الموقع :-

في هذا الاختبار ، يجب تحديد موقع كرة اليد ومقارنتها بالطريقة الشائعة باستخدام الكاميرات للتأكد من خروج شبكة الليزر. لهذا السبب، تم استخدام كاميرتين من نوع [Basler] لتسجيل الفيديو بمعدل ١٢٠ إطار / ثانية. تفصل الكاميرات لمسافة مترين عن بعضهما البعض. تقع كل كاميرا على بعد متر واحد من مركز شبكة الليزر ، وبنفس ارتفاع مركز شبكة الليزر. يتم تعديل المسافة الفاصلة بين الكاميرتين وشبكة الليزر لإنتاج زاوية ٤٥ درجة. يوضح الشكل (١٢) إعداد الاختبار .



شكل (١٢) اختبار تقدير الموقع

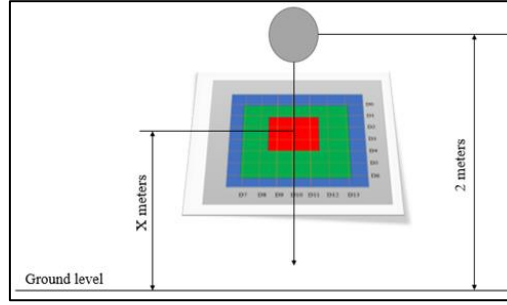
ثانياً: اختبار حساب السرعة المتوسطة :

في هذا الاختبار ، يجب قياس الكرة ومقارنتها بالطريقة الشائعة للتأكد من مخرجات شبكة الليزر. لهذا السبب ، يتم استخدام جاذبية الأرض القياسية للاختبار. تُترك كرة ذات الوزن المعروف لتسقط من أعلى

مترين تحت تأثير الجاذبية الأرضية لتسريعه ا. يوضح الشكل (١٣) إعداد الاختبار. من خلال وضع شبكة الليزر على مسافة X (م) فوق مستوى الأرض، يمكن حساب نتيجة الحركة الخطية بواسطة المعادلة (٤).

$$V = (g(2 - x))^{0.5} \text{ m/sec} \quad \text{Eq(4)}$$

من خلال تغيير قيمة X، يمكن إجراء اختبار مختلف للتأكد من قياسه بواسطة شبكة الليزر. تم إجراء الاختبار لـ x = (٠.٢٥، ٠.٥، ٠.٧٥، ١.١، ١.٢٥، ١.٥، ١.٧٥) م.



شكل (١٣) الاختبار المقدر

جدول (٣) اختبار حساب السرعة المقدر

السرعة المحسوبة م/ث	السرعة الفعلية م/ث	X
4.1433	4.1434	0.25
3.8359	3.836	0.5
3.50199	3.502	0.75
3.1321	3.1321	1
2.7125	2.7125	1.25

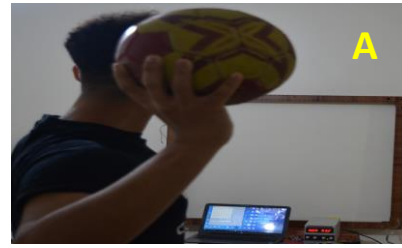
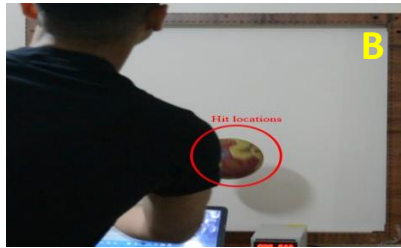
جدول [٣]. يوضح السرعة الفعلية والمحسوبة باستخدام الشبكة على ارتفاعات مختلفة باستخدام

اختبار السرعة.

ثالثاً: اختبار حساب القوة المتوسطة:

لحساب القوة أثناء الرمي، تم عمل افتراض واحد أثناء الاختبار. نظراً لأن المسافة بين اللاعب والهدف صغيرة كما يتم رمي الكرة بسرعة عالية جداً شكل (١٤)، يُفترض أن تكون السرعة ثابتة خلال منطقة الطيران. من خلال هذا الافتراض، يمكن حساب التسارع باستخدام المعادلة التالية:

$$a = \frac{V_f - V_i}{t} \quad \text{Eq [5]}$$



شكل (١٤) الاختبار الفعلي لشبكة الليزر

ونظراً لأن مسافة الإسقاط تُعرف باسم [D] والسرعة ثابتة كما أن السرعة الأولية تساوي صفراً نظراً

لأن سرعة الكرة في الحالة الأولية وهي ثابتة تساوي صفراً:

$$t = \frac{D_{throw}}{v_f} \quad \text{Eq [6]}$$

$$a = \frac{v_f^2}{D_{throw}} \quad \text{Eq [7]}$$

حيث يتم حساب v_f باستخدام شبكة الليزر المصممة. فإن القوة في هذه الحالة تساوي تقريباً:

$$F = ma = m \frac{v_f^2}{D_{throw}} \quad \text{Eq [8]}$$

حيث m هي وزن كرة اليد الذي يساوي تقريباً ٤٧٥ جرام. بناءً على المعلومات الواردة في جدول ٣، يمكن حساب القوة على النحو التالي:

جدول [4]

مقدار العجلة والقوة المحسوبة للكرة أثناء السقوط الحر

العجلة المحسوبة م/ث ²	القوة المحسوبة (نيوتن)
9.80968	4.65956
9.8094	4.6594
9.8111	4.6603
9.8101	4.65977
9.8102	4.6598
9.8124	4.6609

من معادلة القوة، وبما أن كتلة الكرة ثابتة، فإن الحساب الجيد للتسارع سيؤدي إلى حساب جيد للقوة. في اختبار جدول [3]، تُترك الكرة لتسقط سقوطاً حراً تحت تأثير الجاذبية. تبلغ القيمة المتوقعة للتسارع حوالي ٩.٨١ متر مربع / ثانية. من النتيجة أعلاه، يمكن ملاحظة أن التسارع قد تم تقديره بدقة عالية مما أدى إلى دقة عالية في تقدير قوة الكرة.

رابعاً: القياسات العملية لبعض الخصائص الميكانيكية:

قد أجرى الباحثين تطبيقات عملية على عينة البحث والبالغ عددها (٤) لاعبين في مجال كرة اليد بهدف قياس بعض الخصائص الميكانيكية وهي (السرعة المتوسطة - القوة المتوسطة) عن طريق الجهاز المصمم باستخدام شبكة الليزر جدول (٥)، علماً بأنه تم قياس دقة التصويب وتظهر تلك النتيجة على واجه البرنامج المصمم من قبل الباحثين (GUI software) شكل (١٥).

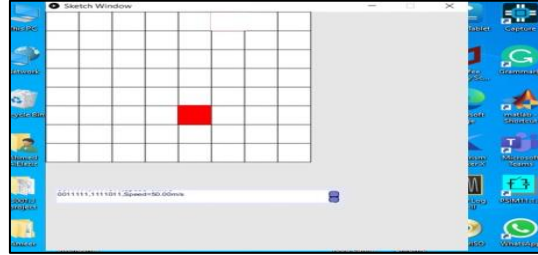
جدول [5]

القياسات العملية لبعض الخصائص الميكانيكية ن = (٤)

اللاعبين	السرعة المتوسطة م/ث	القوة المتوسطة / نيوتن
----------	---------------------	------------------------

	نسبة الخطأ %	القيمة	
114.95	0.054	22	الأول
95.00	0.040	20	الثاني
136.80	0.060	24	الثالث
104.74	0.050	21	الرابع

يوضح جدول (٥) قيم السرعة المتوسط لعينة البحث والتي تراوحت ما بين (٢٠ م/ث إلى ٢٤ م/ث) ، وتراوحت نسبة الخطأ ما بين (٠.٠٤ % إلى ٠.٠٦ %) ، كما تراوحت مقدار القوة المتوسطة ما بين (٩٥.٠٠/نيوتن إلى ١٣٦.٨ / نيوتن) .



شكل (١٥) تحديد موقع الكرة على واجه البرنامج (GUI software)

والعرض السابق يظهر تمكن الباحثين من التوصل إلى تصميم وتصنيع شبكة ليزر شكل (١٦) ، والتي تتصف بمميزات منها (الدقة في القياس ، سرعة التردد والتي تصل إلى ٢٠٠٠ قراءة في الثانية ، القدرة على رصد الكرة بدون وضع عاكس رصد (tracking markers) من خلال بناء برمجية (GUI software) ، تحديد موقع الكرة مع رصد مسارها في الفراغ وإعطاء التقرير الفوري (real time)) ، والتي خضعت إلى إجراء معايرة علمية دقيقة.



شكل (١٦) جهاز شبكة الليزر كنموذج أولى

الاستنتاجات :-

- تمكن الباحثين من بناء وحدة الكترونية باستخدام شبكة الليزر بهدف تتبع مسار الكرات المقذوفة وقياس بعض المتغيرات الميكانيكية وذلك في ضوء التصميم الهندسي الأمثل كنموذج أولى
- عند تصميم مربعات شبكة الليزر (الإطار) يجب أن تكون المسافة بين مصدرين من الليزر المتتابعين أقل من قطر الكرة المستخدمة ، كما يجب أن يكون ضعف تلك المسافة أكبر من قطر الكرة المستخدمة في الاختبار .
- استطاع الباحثين من تحديد موقع الكرة بدقة من خلال التصميم الهندسي الأمثل من حيث المسافة المناسبة بين مصدرين الليزر وهي ١٢.٥ سم ، حيث تبلغ أبعاد المربع الواحد ١٢.٥ سم * ١٢.٥ سم. ونتيجة لهذا التصميم وتلك الأبعاد الهندسية أصبح لدينا [٦٤ مربع] يمكن أن تعبر من خلالها الكرة وتقطع شعاع الليزر ليتم اكتشافها.

- تم تعريف كل مربع في الشبكة للبرمجية المقترحة بواسطة اثنين من سلسلة الصفوف وسلسلة من الأعمدة مثل [D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6] ، [D7 D8 D9 D10 D11 D12 D13] ، وتم إرسال هذه السلاسل بواسطة الرقم الثنائي وكل [D] يحتوي على قيمتين فقط (صفر أو ١ صحيح).
- تم استخدام متحكم Arduino AT-Mega 2560 لمهمة المعالجة نظرًا لارتفاع عدد المدخلات الرقمية . كما تم استخدام مستشعر الليزر KY-008 الذي ينتج ليزرًا بطول موجي ٦٥٠ نانو متر مع أجهزة الرواصد التي في نفس نطاق الطول الموجي.
- تم التحقق من دقة معايرة التصميم الهندسي المقترح من خلال حساب الاستجابة الزمنية لوحدة الليزر ، وتم تقدير زمن استجابة المستشعر بحوالي [١ مايكرو ثانية]. هذا الزمن سوف يضيف خطأ وهذا الخطأ يزداد كلما زادت سرعة الكرة المقذوفة ، وبلغ مقدار أقصى نسبة خطأ 0.1 % ، وذلك عندما بلغت أقصى سرعة فعلية للكرة ٥٠ م/ث ، والسرعة المحسوبة بواسطة المستشعر ٤٩.٩٥ م/ث.
- تم التحقق من دقة معايرة التصميم الهندسي من خلال اختبار تأثير الأشعة المحيطة لشعاع الليزر ، حيث تم اختبار الوحدة تحت إشعاعات مختلف لفهم الكمية الحرجة للإشعاعات في الوسائط المحيطة التي تؤثر على شعاع الليزر عن طريق استخدام مصابيح [LED] لإنشاء شعاع متغير على راصد الليزر عن طريق تغيير الجهد المطبق على [LED] .
- تمكن الباحثين من التوصل إلى التسلسل الرقمي لرصد الليزر لكل مربع من المربعات ، وقد تم إرسال الرقم التسلسلي لها إلى المعالج ومنها إلى [GUI] ، ووفقا لذلك تم تحديد موقع الكرة على الشاشة الرسومية للبرنامج المصمم .
- استطاع الباحثين من حساب السرعة المتوسطة للكرة كمقذوف من خلال اختبار السرعة المعتمدة على السقوط الحر للكرة من ارتفاعات مختلفة حيث بلغ مقدار السرعة الفعلية ٤.١٤٣٤ م/ث ، والسرعة المحسوبة ٤.١٤٣٣ م/ث عند السقوط من ارتفاع ٠.٢٥ متر ، كما بلغ مقدار السرعة الفعلية ٢.٧١٢٥ م/ث والسرعة المحسوبة ٢.٧١٢٥ م/ث عند السقوط من ارتفاع ١.٢٥ متر .
- إن دقة حساب القوة المتوسطة يتوقف على دقة العجلة المحسوبة ، وقد بلغ أدنى مقدار للعجلة المحسوبة ٩.٨٠٩٦ م/ث² ، وبلغ مقدار القوة المحسوبة ٤.٦٥٩٥ نيوتن ، وقد بلغ أقصى مقدار للعجلة المحسوبة ٩.٨١١٢ م/ث² وبلغ مقدار القوة المحسوبة ٤.٦٦٠٩ نيوتن .

التوصيات :-

- في ضوء هدف وتساؤلات البحث وفي ضوء مجتمع وعينة البحث المختارة يوصى الباحثين بالاتي :-
- عند إجراء تصميمات هندسية مماثلة يجب ألا يكون مستقبل الليزر حساسًا للضوء الطبيعي (ضوء الشمس ، ضوء المنزل). فإذا كان جهاز الاستقبال حساسًا لهذه المصابيح ، فسوف يؤدي ذلك إلى حدوث ضوضاء مزيفة تؤثر في إشارات الرصد الحقيقية.
 - للتعرف على تأثير الأشعة المحيطة لشعاع الليزر يجب اختبار الوحدة تحت إشعاعات مختلفة لفهم الكمية الحرجة للإشعاعات في الوسائط المحيطة التي تؤثر على شعاع الليزر عن طريق استخدام مصابيح [LED] لإنشاء شعاع متغير على راصد الليزر عن طريق تغيير الجهد المطبق على [LED] .

- يجب تحديد موقع كرة اليد ومقارنتها بالطريقة الشائعة عن طريق استخدام كاميرات عالية السرعة للتأكد من خروج شبكة الليزر.
- يجب الأخذ بعين الاعتبار أهمية ما توصل إليه الباحثين من تصميم هندسي تم اختباره حيث يتسم بالدقة العالية في تتبع مسار الكرات المقذوفة وقياس بعض المتغيرات الميكانيكية التي تتصف بالأهمية البالغة للرياضات التي تتوقف نتائجها على ضبط تلك المتغيرات في ضوء القياس الدقيق لها ، حيث يوصى الباحثين بضرورة الاعتماد على الجهاز المصمم مع التطوير المستمر له .

المراجع :-

أولاً: المراجع باللغة العربية :-

- ١- طلحة حسين حسام الدين : الميكانيكا الحيوية الأسس النظرية والتطبيقية ، دار الفكر العربي ، القاهرة ، جمهورية مصر العربية ، ط١ ، ١٩٩٣ .

ثانياً المراجع الأجنبية :-

- 2- Challis ،J. ،Bartlett ،R.M. and Yeadon ،M. (1997) ‘Image-based motion analysis’ .
- 3- Cross R, Pollard G. Grand Slam men's singles tennis 1991–2009. Serve speeds and other related data. ITF Coach Sport Sci Rev 2009; 16: 8–10.
- 4- Landlinger J, Stöggel T, Lindinger S, Wagner H, Müller E. Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. Eur J Sport Sci 2012; 12: 301–308.
- 5- Vaverka F, Cernosek M. Association between body height and serve speed in elite tennis players. Sports Biomechanics 2013; 12: 30–37.
- 6- Vergauwen L, Madou B, Behets D. Authentic evaluation of forehand groundstrokes in young low- to intermediate-level tennis players. Med Sci Sports Exerc 2004; 36: 2099–2106.
- 7- Irene González-González^{1, 2}, David Rodríguez-Rosell³, David Clavero-Martín², Ricardo Mora-Custodio³. Reliability and Accuracy of Ball Speed During Different Strokes in Young Tennis Players, Sports Medicine International Open 2018; 2: E133–E141.
- 8- Jouni Ronkainen. Laser based tracking and spin measurement, A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of, Loughborough university, 2008.