

مقارنة بعض المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي على السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي: دراسة حالة فردية

أ. نصرالدين بشير أحمد الفقيه

المؤلف  <https://orcid.org/0009-0007-4431-6612>

عضو هيئة تدريس - كلية التربية البدنية - جامعة المرقب - ليبيا

nbalfgih@elmergib.edu.ly

Comparison of Some Kinematic Variables of the Lower Limb During the Gait Cycle on Two Surfaces (Level and Inclined) of an Electric Treadmill: A Single-Case Study

Mr. Nasr al-Din Bashir Amhamed Al-Faqih

Faculty Member – College of Physical Education – Al-Mergib University – Libya

تاريخ الاستلام: 2026-06-10، تاريخ القبول: 2026-06-20، تاريخ النشر: 2026-06-30

المخلص:

هدفت الدراسة إلى مقارنة بعض المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي عند الأداء على السطح المستوي والسطح المنحدر لجهاز السير الكهربائي، مع التركيز على التغيرات الحركية لمفصل الكاحل. استخدم الباحث المنهج الوصفي بأسلوب دراسة الحالة، بالاستعانة بالمدخل التحليلي، وتمثلت عينة البحث في فرد واحد من الذكور الرياضيين، يبلغ من العمر (33) سنة، وطوله (1.74) م، ووزنه (76) كغ. تم تسجيل الأداء الحركي باستخدام كاميرا رقمية بسرعة تصوير بلغت (60 إطاراً/ثانية)، وتحليل التسجيلات باستخدام برنامج التحليل الحركي الرقمي (Kinovea)، وذلك أثناء المشي بسرعة ثابتة بلغت (4.5 كم/ساعة) على سطح مستوي، ثم على سطح منحدر بزاوية (3.1°). وشملت المتغيرات المدروسة الموضع العمودي والأفقي، والمسافة الكلية، والإزاحة الرأسية والأفقية النسبية، والتسارع الأفقي والرأسي والتسارع الناتج، وزاوية مفصل الكاحل، والسرعة الزاوية، والتسارع المركزي.

أظهرت النتائج وجود تغيرات في عدد من المتغيرات الكينماتيكية عند الانتقال من السطح المستوي إلى السطح المنحدر. ففي مفصل الكاحل ارتفع متوسط الموضع العمودي من (10.36) إلى (10.75) سم، والمسافة الكلية من (40.71) إلى (42.82) سم، كما ارتفع متوسط التسارع الأفقي من (0.46) إلى (0.55) م/ث²، والتسارع المركزي من (0.03) إلى (0.10) م/ث²، والتسارع الناتج من (0.51) إلى (0.87) م/ث². كما ارتفع متوسط زاوية الكاحل بصورة محدودة من (124.64°) إلى (125.02°)، في حين ظهر تغير أكبر في تشتت السرعة الزاوية، إذ ارتفع انحرافها المعياري من (30.49) إلى (52.05) درجة/ثانية. وبصورة عامة، تشير النتائج، في حدود دراسة الحالة الفردية، إلى أن المشي على السطح

المنحدر בזاوية (3.1°) ارتبط بتعديلات في النمط الكينماتيكي للطرف السفلي، وبصورة خاصة في حركة مفصل الكاحل، مع اختلاف مقدار واتجاه التغير تبعًا للمتغير والنقطة التشريحية. وتوفر هذه النتائج وصفًا كمياً أوليًا يمكن الاستفادة منه في الدراسات المستقبلية التي تتناول تأثير ميل جهاز السير الكهربائي في ميكانيكا المشي، مع ضرورة إجراء دراسات على عينات أكبر للتحقق من إمكانية تعميم النتائج.

الكلمات المفتاحية: التحليل الكينماتيكي - دورة المشي - جهاز السير الكهربائي - السطح المنحدر - مفصل الكاحل - الطرف السفلي - دراسة حالة فردية.

Abstract:

This study aimed to compare selected kinematic variables of the lower limb during the gait cycle while walking on a level and an inclined treadmill surface, with particular emphasis on kinematic changes at the ankle joint. A descriptive case-study design with an analytical approach was employed. The study involved one male athlete, aged 33 years, with a height of 1.74 m and a body mass of 76 kg. Walking performance was recorded using a digital camera at a sampling rate of 60 frames per second, and the recordings were analyzed using Kinovea motion analysis software. The participant walked at a constant speed of 4.5 km/h under two conditions: a level treadmill surface and an inclined surface set at 3.1°. The analyzed variables included vertical and horizontal position, total distance, relative vertical and horizontal displacement, horizontal and vertical acceleration, resultant acceleration, ankle joint angle, angular velocity, and centripetal acceleration.

The results showed changes in several kinematic variables when the participant transitioned from the level to the inclined treadmill surface. At the ankle, the mean vertical position increased from 10.36 to 10.75 cm, while the mean total distance increased from 40.71 to 42.82 cm. The mean horizontal acceleration increased from 0.46 to 0.55 m/s², centripetal acceleration increased from 0.03 to 0.10 m/s², and resultant acceleration increased from 0.51 to 0.87 m/s². The mean ankle joint angle showed a limited increase from 124.64° to 125.02°, whereas a greater change was observed in the variability of angular velocity, with its standard deviation increasing from 30.49 to 52.05°/s. Overall, within the limitations of this single-case study, walking on a treadmill inclined at 3.1° was associated with modifications in the kinematic pattern of the lower limb, particularly at the ankle joint, with the magnitude and direction of change varying according to the kinematic variable and anatomical landmark. These findings provide preliminary quantitative data that may contribute to future investigations of the effects of treadmill inclination on gait biomechanics. Studies involving larger samples are recommended to determine the generalizability of these findings.

Keywords: Kinematic analysis – Gait cycle – Motorized treadmill – Inclined surface – Ankle joint – Lower limb – Single case study.

المقدمة :

يُعد التحليل الحركي (الكينماتيكي) للطرف السفلي من الأساليب المهمة في دراسة الحركة البشرية، لما يوفره من معلومات كمية عن حركة أجزاء الجسم والمفاصل، مثل الموضع والإزاحة والتسارع وزوايا المفاصل والسرعة الزاوية، مما يساعد في وصف النمط الحركي وتفسير التغيرات التي تطرأ عليه باختلاف ظروف الأداء (Tarnita,Oncescu, Vaduva,Tenovici, Petrovici,, 2019).

ويُستخدم جهاز السير الكهربائي (Treadmill) على نطاق واسع في دراسة المشي والتدريب والتأهيل، لما يوفره من إمكانية التحكم في سرعة المشي وميل سطح السير ضمن ظروف تجريبية قابلة للضبط والتكرار. ويؤدي تغيير ميل سطح السير إلى تعديلات في حركة الطرف السفلي، إذ أظهرت الدراسات تغيرات في زوايا وحركة مفاصل الطرف السفلي، ومنها مفصل الكاحل، عند الانتقال من السطح المستوي إلى السطح المنحدر (Haggerty,Dickin,Popp,Wang, 2014).

ويكتسب مفصل الكاحل أهمية خاصة خلال دورة المشي، لما له من دور في حركة الطرف السفلي والتكيف مع متطلبات سطح المشي؛ لذلك فإن دراسة التغيرات في متغيراته الكينماتيكية عند اختلاف ميل سطح السير يمكن أن توفر معلومات كمية عن التغير في نمط حركة المفصل ودلالاته الحركية والوظيفية.

مشكلة البحث:-

يُعد المشي من الأنشطة الحركية الأساسية التي تتطلب تنسيقاً مستمراً لحركة مفاصل الطرف السفلي بما يحقق استمرارية الحركة والمحافظة على الاتزان. وتتأثر حركة الطرف السفلي خلال دورة المشي بعدد من العوامل الميكانيكية والكينماتيكية، ومن بينها ميل سطح المشي، إذ يرتبط تغيير الميل بتغيرات في حركة مفاصل الطرف السفلي خلال دورة المشي (Haggerty,Dickin,Popp,Wang, 2014).

وقد أظهرت الدراسات أن تغيير ميل جهاز السير الكهربائي يرتبط بتعديلات في حركة مفاصل الطرف السفلي وزواياها، بما يشير إلى تغير النمط الحركي مع اختلاف ميل سطح السير (Tarnita,Oncescu, Vaduva,Tenovici, Petrovici,, 2019).

كما أشارت دراسات أخرى إلى أن اختلاف ميل السير يمكن أن يرتبط بتغيرات في بعض المتغيرات الزمانية والمكانية والكينماتيكية المرتبطة بالمشي (Lu,Al-Juaid,Al-Amri, 2023). وعلى الرغم من تناول الدراسات السابقة لتأثير ميل سطح السير في بعض جوانب حركة الطرف السفلي، فإن اختلاف

تصميمات الدراسات من حيث سرعة المشي ودرجة الميل والمتغيرات الحركية المستخدمة وطرائق التحليل يجعل من المفيد إجراء قياسات كمية مباشرة لمجموعة من المتغيرات الكينماتيكية خلال دورة المشي تحت ظروف محددة وثابتة. كما أن المشي على جهاز السير الكهربائي يمثل نمطاً حركياً له خصائصه الخاصة مقارنة بالمشي على الأرض، الأمر الذي يستدعي دراسة المتغيرات الكينماتيكية ضمن بيئة السير الكهربائي بصورة مستقلة (Semaan, Wallard, Ruiz, Gillet, Leteneur, Simoneau- Buessinger, 2022).

ومن هنا تتمثل مشكلة البحث الحالي في الحاجة إلى وصف ومقارنة بعض المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي عند اختلاف ميل سطح جهاز السير الكهربائي من المستوى المستوي إلى المستوى المنحدر، مع التركيز على التغيرات المرتبطة بمفصل الكاحل ودلالاتها الحركية والوظيفية، وذلك في إطار دراسة حالة فردية.

ملاحظة منهجية مهمة للمرحلة القادمة: عند كتابة أهمية البحث، ينبغي ألا نعيد الحديث عن أن الميل «يغير الحركة»؛ فهذا ثبت في المقدمة ومشكلة البحث. الأفضل أن نوضح ما الذي تضيفه هذه الدراسة تحديداً من الناحية العلمية والتطبيقية، مع المحافظة على حدود دراسة الحالة الفردية.

أهمية البحث:-

تتبع أهمية البحث من أهمية التحليل البيوميكانيكي لدورة المشي في وصف التغيرات التي تطرأ على حركة الطرف السفلي باختلاف ظروف الأداء، ولا سيما عند تغيير ميل سطح السير الكهربائي. ويكتسب مفصل الكاحل أهمية خاصة خلال دورة المشي لما له من دور في حركة الطرف السفلي والتكيف مع متطلبات السطح، الأمر الذي يجعل دراسة التغيرات في متغيراته الكينماتيكية ذات أهمية في فهم طبيعة الأداء الحركي عند الانتقال من السطح المستوي إلى السطح المنحدر (Haggerty, Dickin, Popp, Wang, 2014).

تتمثل الأهمية العلمية للبحث في توفير وصف كمي لبعض المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي، ومقارنة قيمها ونسب التغير بينها عند المشي على السطحين المستوي والمنحدر لجهاز السير الكهربائي، مع التركيز على مفصل الكاحل، بما يساهم في توضيح التغيرات في نمط حركته ودلالاتها الحركية والوظيفية عند اختلاف ميل سطح السير.

أما الأهمية التطبيقية، فتتمثل في إمكانية الاستفادة من النتائج في فهم المتطلبات الحركية للمشي على جهاز السير الكهربائي عند تغيير ميل سطحه، بما قد يفيد الباحثين والمدربين وأخصائي التأهيل في تفسير التغيرات التي تطرأ على حركة الطرف السفلي والكاحل، فضلاً عن توفير بيانات أولية يمكن أن تستند إليها دراسات مستقبلية أوسع في تحليل المشي والميكانيكا الحيوية للمفاصل.

اهداف البحث:-

يهدف البحث إلى:

- 1- تحديد القيم الكمية لبعض المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي على السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي.
 - 2- مقارنة قيم المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي بين السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي، وتحديد نسب التغير في هذه المتغيرات بين حالتي المشي.
 - 3- تفسير دلالات التغيرات في المتغيرات الكينماتيكية لمفصل الكاحل خلال دورة المشي بين السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي في ضوء المتطلبات الحركية والوظيفية. للمفصل.
- تساؤلات البحث:-

- 1- ما القيم الكمية لبعض المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي على السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي؟
 - 2- ما نسب ومقادير التغير في قيم المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي بين السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي؟
 - 3- ما الدلالات الحركية والوظيفية للتغيرات في المتغيرات الكينماتيكية لمفصل الكاحل خلال دورة المشي بين السطحين (المستوي والمنحدر) لجهاز السير الكهربائي؟
- اهم مصطلحات البحث:-

1- التحليل الكينماتيكي (Kinematic Analysis) :-

التحليل الكينماتيكي هو وصف حركة الجسم وأجزائه من خلال المتغيرات المرتبطة بالحركة، مثل الموضع والإزاحة والسرعة والتسارع وزوايا المفاصل، دون تناول القوى والعزوم المسببة للحركة. ويُستخدم في تحليل المشي لوصف حركة أجزاء الجسم والمفاصل خلال دورة المشي (Padulo, Chamari, Ardigo, 2014).

2- دورة المشي (Gait Cycle):- تتابع الحركي المستمر ومتكرر النمط الذي يبدأ بلحظة تلامس الكعب للقدم مع سطح الأرض وينتهي بلحظة التلامس التالية لنفس الكعب، وتتكون تنظيمياً من مرحلتين رئيسيتين: مرحلة الوقوف (Stance Phase) ومرحلة التأرجح (Swing Phase) (طلحة حامد حسام الدين، 2016).

3- جهاز السير الكهربائي (Treadmill) :-

هو جهاز مزود بسطح متحرك يُستخدم لأداء المشي أو الجري ضمن ظروف تجريبية يمكن التحكم فيها، ولا سيما سرعة الحركة وميل سطح السير، مما يتيح ضبط ظروف الأداء وتكرارها في الدراسات المتعلقة بالمشي والحركة البشرية (Padulo, Chamari, Ardigo, 2014).

4- السطح المنحدر لجهاز السير الكهربائي:-

يقصد بالسطح المنحدر لجهاز السير الكهربائي وضع سطح السير بزاوية ميل بالنسبة إلى المستوى الأفقي، بما يؤدي إلى تغيير ظروف ومتطلبات المشي مقارنة بالسطح المستوي. ويُعد ميل سطح السير أحد المتغيرات التجريبية التي يمكن التحكم فيها عند دراسة الاستجابات البيوميكانيكية والحركية للمشي (Kundu, Rohit؛ Krieger, Taj؛ Sanchez, Ricardo؛ Lankford, 2024).

5- المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي :-

يقصد بالمتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي مجموعة المقاييس الكمية التي تصف حركة أجزاء الطرف السفلي ومفاصله خلال دورة المشي، وتشمل، بحسب طبيعة التحليل، الموضع والإزاحة والسرعة والتسارع وزوايا المفاصل والسرعة الزاوية (Padulo, Chamari, Ardigo, 2014).

6- مفصل الكاحل (Ankle Joint):- المفصل الحركي الذي يربط بين عظام الساق (القصبة والشفية) وعظمة الكاحل (القرص)، ويُعد حجر الأساس في نقل قوى رد الفعل الأرضي، وامتصاص الصدمات، وتوفير الثبات والدفع أثناء مرحلة الدفع في دورة المشي (علاء الدين أحمد غانم، ومحمد محمود الحصري، 2018).

7- دراسة الحالة الفردية (Single-Case Study):-

دراسة الحالة هي منهج بحثي يقوم على الفحص المكثف والمنظم لحالة واحدة ضمن سياقها المحدد، مع تحليل متعمق للبيانات المرتبطة بمتغيرات الحالة بهدف وصف الظاهرة وفهم خصائصها بصورة تفصيلية (Roberta Heale , Alison Twycross, 2018).

الدراسات السابقة:-

1- دراسة: (Haggerty, Dickin, Popp, Wang, 2014)

عنوان الدراسة: "تأثير المشي على سطح مائل في ميكانيكا المفاصل"

المنهج والعينة: استخدم الباحثون منهجًا تجريبيًا لدراسة تأثير المشي على الميول المختلفة في ميكانيكا مفاصل الطرف السفلي. تكونت العينة من 15 رجلًا من الأصحاء، وتم إجراء الاختبارات أثناء المشي على جهاز السير الكهربائي بسرعة ثابتة بلغت 1.34 م/ث.

هدف الدراسة: هدفت الدراسة إلى فحص تأثير المشي على السطح المائل في ميكانيكا مفاصل الطرف السفلي في المستويين الجبهي والسهمي، مع التركيز بصورة خاصة على الأحمال واللحظات الميكانيكية الواقعة على مفصل الركبة.

الأدوات والإجراءات: استخدم الباحثون جهاز السير الكهربائي، وتم اختبار المشاركين عند خمس درجات للميل هي: 0%، 5%، 10%، 15%، و20%، مع تثبيت سرعة المشي عند 1.34 م/ث. وتم تحليل ميكانيكا مفاصل الطرف السفلي في المستويين الجبهي والسهمي.

أهم النتائج: أظهرت النتائج أن المشي على الميل أدى إلى انخفاض ملحوظ في العزم الداخلي لإبعاد الركبة مقارنة بالمشي على السطح المستوي في معظم درجات الميل، باستثناء ميل 5%. كما أظهرت النتائج وجود علاقة عكسية بين درجة ميل جهاز السير والعزم الداخلي لإبعاد الركبة عند المقارنات الخاصة بزيادات قدرها 10% في الميل.

2. دراسة: (Kathleen Tulchin, Michael S. Orendurff, Laura A. Karol, 2010)

عنوان الدراسة: "تأثير ميل السطح في الكينماتيكا متعددة المقاطع للقدم لدى البالغين الأصحاء"

المنهج والعينة: استخدم الباحثون منهجًا تجريبيًا مقارنة لدراسة تأثير اختلاف ميل سطح المشي في المتغيرات الكينماتيكية للقدم. شملت الدراسة 24 شخصًا بالغًا سليمًا، بواقع 16 أنثى و8 ذكور، بمتوسط عمر بلغ 25.5 ± 4.4 سنة. أُجريت القياسات أثناء المشي بسرعة ثابتة على جهاز السير الكهربائي تحت عدة ظروف للميل.

هدف الدراسة: هدفت الدراسة إلى تحديد تأثير اختلاف ميل سطح المشي في الحركة الكينماتيكية متعددة المقاطع للقدم، مع التركيز على حركة الكاحل وحركتي مؤخر القدم ومقدمها في المستويات المختلفة. الأدوات والإجراءات: استخدم الباحثون جهاز السير الكهربائي القياسي، مع نظام تحليل حركة ثلاثي الأبعاد، وتم تحليل حركة الكاحل باستخدام نموذج القدم الصلبة، إلى جانب تحليل الحركة ثلاثية الأبعاد

لمؤخر القدم ومقدمها. تمت المقارنة بين المشي على السطح المستوي وميل صاعد بدرجات 3%، 6%، 9%، 12%، إضافة إلى ميل هابط يقارب 7.5%، مع الحفاظ على سرعة المشي ثابتة.

أهم النتائج: أظهرت النتائج وجود اختلافات في عدد من المتغيرات الكينماتيكية للقدم باختلاف ميل السطح، ولا سيما أقصى انثناء أخصصي لمؤخر القدم، ومدى الحركة في المستوى السهمي، وتوقيت الوصول إلى القيم القصوى لحركات العطف الظهري والانثناء الأخصصي والانحراف الإنسي والوحشي. كما ظهرت تغيرات في حركة مقدم القدم ومدى حركته في المستوى السهمي. وأشارت النتائج بصورة عامة إلى أن ميكانيكا القدم تتغير بصورة ملحوظة عند المشي على الأسطح المائلة.

مدى الاستفادة من الدراسات السابقة:-

ساهمت الدراسة الاولى في تفسير التغيرات الكينماتيكية لمفصل الكاحل في ضوء المتطلبات الميكانيكية للمشي على السطح المنحدر.

والدراسة الثانية في اختيار ميل سطح جهاز السير كمتغير تجريبي، وتوجيه الدراسة نحو تحليل التغيرات الكينماتيكية للقدم والكاحل عند الانتقال بين الأسطح المختلفة.

وبوجه عام: ساعدت الدراستان في تحديد المتغيرات محل الدراسة، وبناء المقارنة بين السطح المستوي والمنحدر، وتفسير النتائج، مع اختلاف الدراسة الحالية باعتمادها دراسة حالة فردية.

منهج البحث:-

استخدم الباحث المنهج الوصفي بأسلوب دراسة الحالة، مع الاستعانة بالمدخل التحليلي، نظرًا لملاءمته طبيعة هذا البحث.

مجتمع البحث:-

يُمثل مجتمع البحث الرياضيين الذكور البالغين ممن لديهم خبرة في الأداء والتدريب على جهاز السير الكهربائي.

مجالات البحث:-

- **المجال المكاني :** صالة رياضية مجهزة.

- **المجال الزمني :** أُجريت إجراءات الدراسة والقياسات يوم (2026/5/3).

عينة البحث:-

تم اختيار عينة البحث بالطريقة العمدية، وتمثلت في رياضي واحد (ذكر) يبلغ من العمر 33 عامًا، يتمتع بصحة بدنية جيدة، وخالٍ من الإصابات الحالية أو السابقة في الأطراف السفلية خلال الأشهر الستة

السابقة لإجراء القياسات، ويمتلك خبرة كافية في المشي والتدريب على جهاز السير الكهربائي، بما يضمن استقرار الأداء وتقليل تأثير عامل عدم الاعتياد على جهاز السير أثناء القياس.

جدول (1) توصيف الخصائص المورفولوجية للعيينة.

العمر	الطول	الوزن	طول الفخذ	طول الساق	طول القدم	
year	m	kg	cm	cm	cm	cm
33	1.74	76	39	42	بين الكاحل والمشط	القدم كاملة
					14	26

الأدوات والاجهزة المستخدمة في البحث:-

- جهاز سير كهربائي (Treadmill): ذو مواصفات فنية دقيقة يتيح التحكم في السرعة ومستويات الميلان بدقة.

- كاميرا رقمية بسرعة (60f): لتسجيل الأداء الحركي.

- جهاز الحاسب الآلي.

- برنامج التحليل الحركي الرقمي (Kinovea): لاستخراج المتغيرات الكينماتيكية الخطية والزاوية عبر تتبع النقاط التشريحية المحددة.

- شريط قياس وميزان طبي: لقياس الطول، الوزن، والخصائص المورفولوجية لعينة البحث.

- مسطرة للمعايرة على البرنامج.

القياسات المستخدمة في البحث:-

- تم وضع علامات التتبع على النقاط التشريحية (الكاحل - الركبة - المشط-)

- وضع الكاميرا وضبطها في المكان المناسب بحيث تتعامد مع النقاط التشريحية.

- وضع المسطرة في المكان المناسب لتزويد برنامج التحليل بمقياس الرسم.

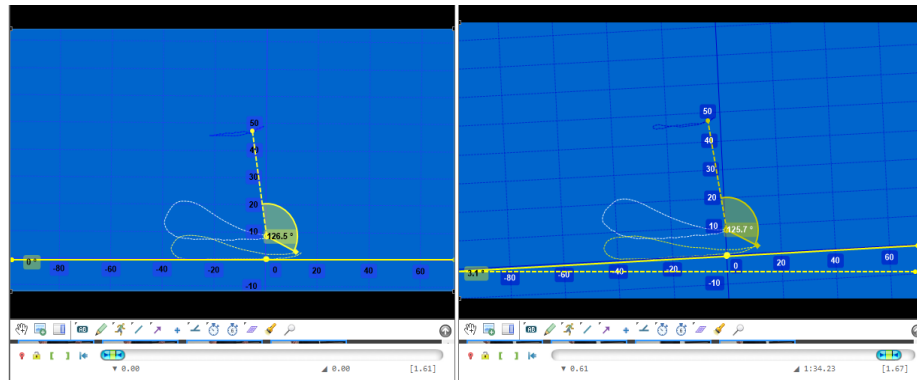
- ضبط سرعة السير الكهربائي على 4.5 km/h

- ثم تصوير المشي على المسطح الأفقي، وبعد ذلك زيادة انحدار المستوى على أعلى درجة

للسير الكهربائي وهي بزاوية (3.1°).

الصورة التالية توضح واجهة برنامج كينوفا وشكل المسار الذي رسمته النقاط التشريحية على

المستويين:-



صورة (1) المسار الحركي لدورة المشي على السطح المستوي والسطح المنحدر للسير الكهربائي

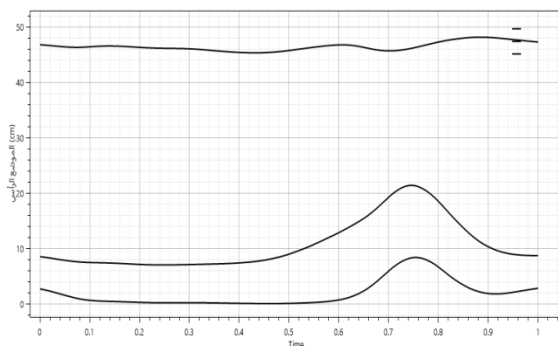
الاجراءات الاحصائية:-

- الوسط الحسابي (Mean) 2- الانحراف المعياري (Standard Deviation)
- 3- القيم العليا والدنيا (Maximum & Minimum) 4- النسبة المئوية للتغير (Percentage of Change)
- 5- الرسوم البيانية الخطية (Line Graphs).
- 6- قيمة التغير (aghayur alqima)

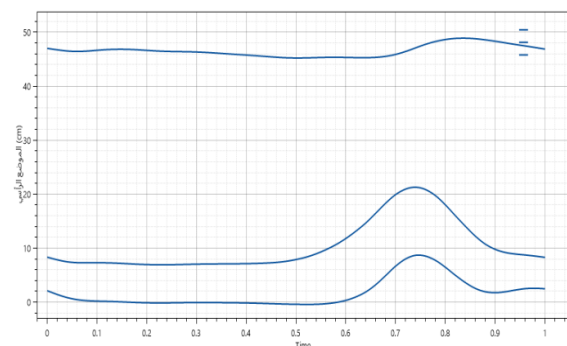
عرض ومناقشة النتائج :-

جدول (2) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير الموضع العمودي (cm) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الافقي						مستوى السير الكهربائي (المستوى)					
نسبة التغير	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشرحية	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشرحية	الاحصاء المتغير
3.79%	21.41	7.08	4.45	10.75	الكاحل	21.29	6.92	4.54	10.36	الكاحل	الموضع العمودي (cm)
-0.15%	48.18	45.37	0.79	46.52	الركبة	48.90	45.24	1.10	46.59	الركبة	
16.82%	8.4	0.08	2.38	1.96	المشط	8.68	0.42	2.62	1.68	المشط	



شكل (2) يوضح الرسم البياني للموضع العمودي لمستوى السير (المنحدر).



شكل (1) يوضح الرسم البياني للموضع العمودي لمستوى السير (المستوي).

يتضح من نتائج جدول (1) الاتي:-

- كما يتضح من جدول (1) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (1) (للحالة المستوية) والشكل (2) (للحالة المنحدرة) أن متوسط الموضع العمودي لنقطة الكاحل قد ارتفع من (10.36 cm) على السطح

المستوي إلى (cm 10.75) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بنسبة تغير بلغت (3.79%) وبمقدار تغير بلغ (cm 0.39)، مع انخفاض طفيف في الانحراف المعياري من (4.54) إلى (4.45)، وتراوحت القيم بين (6.92 و cm 21.29) في الحالة المستوية، لتتراوح بين (7.08 و cm 21.41) في الحالة المنحدرة. وبدلالة الارتفاع الملحوظ في قمم وقيعان منحنى الموضع العمودي للكاحل في الشكل (2) مقارنة بـ الشكل (1)، يتأكد أن هذا التحول يعكس تعديلاً في ارتفاع الكاحل لضمان التخلص الكافي للقدم من السير والتكيف بفاعلية مع ميل السطح أثناء مراحل دورة المشي.

- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للموضع العمودي قد استقر مع انخفاض طفيف من (cm 46.59) على السطح المستوي إلى (cm 46.52) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (-0.15%) وبمقدار تغير بلغ (-0.07 cm)، بالتزامن مع انخفاض الانحراف المعياري من (1.10) إلى (0.79)، وتراوحت القيم بين (45.24 و cm 48.90) في الحالة المستوية، وبين (45.37 و cm 48.18) في الحالة المنحدرة. ومع تتبع سلوك المنحنى العمودي للركبة في الشكل (2) الذي يظهر انتظاماً وثباتاً أعلى في سعة وتذبذب المسار مقارنة بـ الشكل (1)، يتبين بوضوح قدرة الجهاز العصبي العضلي على الحفاظ على ثبات الارتفاع العمودي لمركز المفاصل العليا وتقليل التذبذبات العمودية لترشيد استهلاك الطاقة فوق السطح المائل.

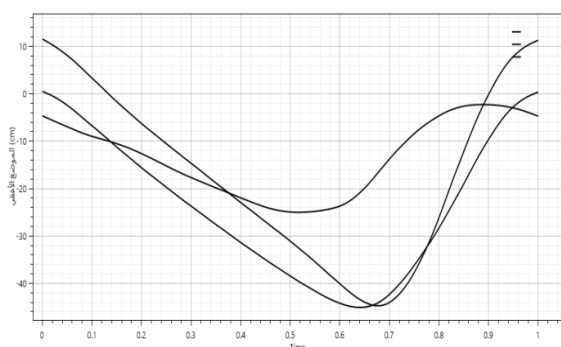
- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجلت أعلى نسبة تغير؛ إذ ارتفع متوسط الموضع العمودي من (1.68 cm) على السطح المستوي إلى (1.96 cm) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (16.82%) وبمقدار تغير بلغ (cm 0.28)، مع انخفاض الانحراف المعياري من (2.62) إلى (2.38)، وتراوحت الحدود بين (-0.42 و cm 8.68) في الحالة المستوية، لتصبح بين (0.08 و cm 8.4) في الحالة المنحدرة. وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (2)، يبرز انزياح طفيف نحو الأعلى واختفاء القيم السالبة تقريباً في نقطة البداية (لتصبح أصغر قيمة 0.08 بدلاً من -0.42)، وهو ما يتطابق مع الارتفاع الواضح في قمم المنحنى لتعزيز مسافة الخلوص العمودي لمقدمة القدم وتقادي الاحتكاك بالسطح المائل.

وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (1) و (2) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب تعديلات توافقية تظهر في زيادة الارتفاع العمودي للكاحل

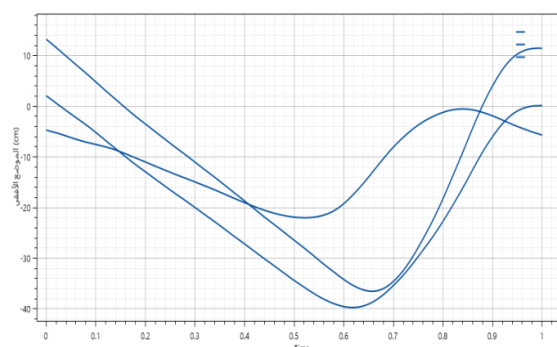
والمشط لضمان التوافق مع زاوية الميل، بينما يحافظ مفصل الركبة على أعلى درجات الثبات العمودي للحفاظ على استقرار مركز ثقل الجسم.

جدول (3) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير الموضع الأفقي (cm) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					
نسبة التغير	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	المتغير
18.73%	0.50	-45.04	15.12	-23.55	الكاحل	2.11	-39.70	13.65	-19.84	الكاحل	الموضع الأفقي (cm)
22.95%	2.28	-24.99	8.00	-13.35	الركبة	0.50	-21.97	7.11	-10.85	الركبة	
36.96%	11.56	-44.71	18.23	-16.56	المشط	13.28	-36.50	16.11	-12.09	المشط	



شكل (4) يوضح الرسم البياني للموضع الأفقي لمستوى السير (المنحدر).



شكل (3) يوضح الرسم البياني للموضع الأفقي لمستوى السير (المستوي).

- و يتضح من جدول (3) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (3) (الحالة المستوية) والشكل (4) (الحالة المنحدرة) أن متوسط الموضع الأفقي لنقطة الكاحل قد انتقل باتجاه القيم السالبة من (-19.84 cm) على السطح المستوي إلى (-23.55 cm) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بنسبة تغير بلغت (18.73%) وبمقدار تغير بلغ (-3.71 cm)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (13.65) إلى (15.12)، وتراوحت القيم بين (-39.70 و 2.11 cm) في الحالة المستوية، لتتوسع بين (-45.04 و 0.50 cm) في الحالة المنحدرة. وبذلالة الانزياح الواضح للمنحنى بأكمله نحو الأسفل واتساع سعة القمم والقيعان في الشكل (4) مقارنة بـ الشكل (3)، يتأكد أن هذا التحول يعكس توسعاً في المدى المكاني والزمني للإزاحة الخلفية للكاحل لزيادة طول الخطوة والتكيف مع متطلبات الارتكاز والتقدم ضد مركبة الميل.

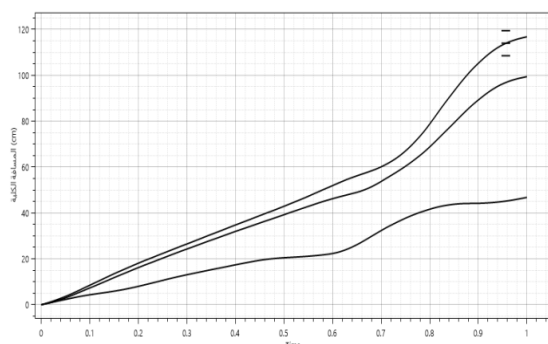
- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للموضع الأفقي قد تحول من (-10.85 cm) على السطح المستوي إلى (-13.35 cm) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (22.95%) وبمقدار تغير بلغ (-2.50 cm)، بالتزامن مع ارتفاع الانحراف المعياري

من (7.11) إلى (8.00)، وتراوحت القيم بين (-21.97 و -0.50 cm) في الحالة المستوية، وبين (-24.99 و -2.28 cm) في الحالة المنحدرة. ومع استجابة منحنى الركبة بهبوط تدريجي نحو قيم سالبة أكبر مع انتظام في إيقاع التذبذب كما يظهر بوضوح في الشكل (4)، يتبين وجود استجابة توافقية للجهاز العصبي العضلي لضبط الإزاحة الأمامية والخلفية للمفصل والحفاظ على توازن وثبات مركز الثقل فوق السطح المائل.

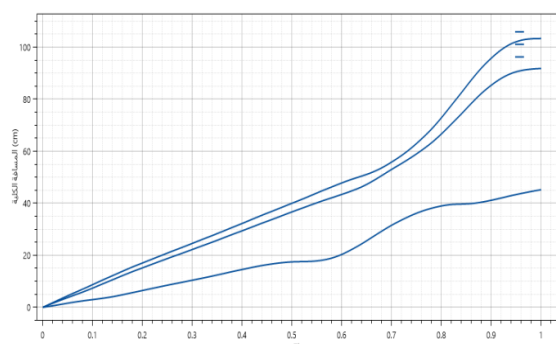
- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجلت أعلى نسبة تغير؛ إذ انتقل متوسط الموضع الأفقي من (-12.09 cm) على السطح المستوي إلى (-16.56 cm) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (36.96%) وبمقدار تغير بلغ (-4.47 cm)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (16.11) إلى (18.23)، وتراوح الحدود بين (-36.50 و 13.28 cm) في الحالة المستوية، لتصل إلى (-44.71 و 11.56 cm) في الحالة المنحدرة. وعند مطابقة هذه الأرقام مع الامتداد الحاد في عمق القيعان السالبة والقمم الموجبة لمنحنى المشط في الحالة المنحدرة مقارنة بالحالة المستوية، يتضح بوضوح توسع مسافة الوصول الأمامي والخلفي لمقدمة القدم لتأمين قاعدة دعم أمامي آمنة تمنع الانزلاق وتتلاءم مع متطلبات الارتقاء. وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (3) و (4) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يفرض استراتيجية حركية تعتمد على زيادة الإزاحات الأفقية لجميع النقاط التشريحية نحو الاتجاه السالب لضمان الاستمرارية الحركية وتوزيع الأحمال بفاعلية.

جدول (4) يوضح التوصيف الإحصائي لبيانات متغير المسافة الكلية (cm) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					
المتغير الإحصائي	النقاط التشريحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة	المتغير الإحصائي	النقاط التشريحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة
المسافة الكلية (cm)	الكاحل	40.71	27.54	0.00	91.82	الكاحل	42.82	28.93	0.00	99.40	5.18%
	الركبة	20.67	14.61	0.00	45.21	الركبة	22.75	14.88	0.00	46.80	10.07%
	المشط	44.91	30.65	0.00	103.33	المشط	48.76	34.11	0.00	116.79	8.58%



شكل (6) يوضح الرسم البياني للمسافة الكلية لمستوى السير (المنحدر).



شكل (5) يوضح الرسم البياني للمسافة الكلية لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (4) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (5) (للحالة المستوية) والشكل (6) (للحالة المنحدرة) أن متوسط المسافة الكلية لنقطة الكاحل قد ارتفع من (cm 40.71) على السطح المستوي إلى (cm 42.82) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بنسبة تغير بلغت (5.18%) وبمقدار تغير بلغ (cm 2.11)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (27.54) إلى (28.93)، وثبات أصغر قيمة عند (cm 0.00) بينما ارتفعت أكبر قيمة من (cm 91.82) إلى (cm 99.40). وبدلالة الارتفاع الملحوظ في سعة القمم والمدى الزمني والمكاني لمنحنى المسافة الكلية للكاحل في الشكل (6) مقارنة بالشكل (5)، يتأكد أن هذا التحول يعكس اتساع المدى الحركي الكلي للطرف السفلي لزيادة طول مسار الحركة والتكيف بفاعلية مع متطلبات التقدم ضد الانحدار.

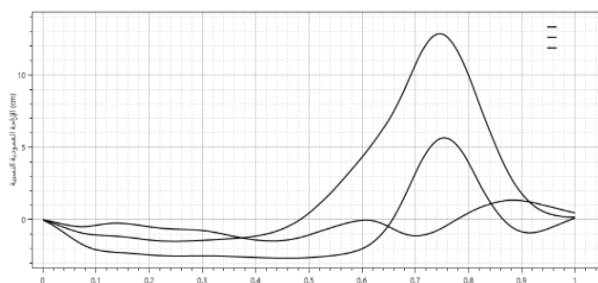
- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للمسافة الكلية قد ارتفع من (cm 20.67) على السطح المستوي إلى (cm 22.75) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (10.07%) وبمقدار تغير بلغ (cm 2.08)، بالتزامن مع تقارب الانحراف المعياري (14.61) مقابل (14.88)، وثبات أصغر قيمة عند (cm 0.00) مع ارتفاع أكبر قيمة من (cm 45.21) إلى (cm 46.80). ومع تتبع سلوك المنحنى للركبة في الشكل (6) الذي يظهر امتداداً تصاعدياً في قمم المسار مقارنة بالشكل (5)، يتبين بوضوح زيادة الإزاحة الكلية لمفصل الركبة لتوفير المدى الحركي اللازم لمواصلة الخطوة بفاعلية ودعم استقرار السلسلة الحركية فوق السطح المائل.

- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجلت متوسط المسافة الكلية مرتفعة من (cm 44.91) على السطح المستوي إلى (cm 48.76) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (8.58%) وبمقدار تغير بلغ (3.85) cm، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (30.65) إلى (34.11)، وثبات أصغر قيمة عند (cm 0.00) بينما قفزت أكبر قيمة من (cm 103.33) إلى (cm 116.79). وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (6)، يبرز اتساع بارز في قمم المنحنى وزيادة واضحة في المدى الكلي لحركة مقدمة القدم، وهو ما يتطابق مع متطلبات زيادة طول مسار الارتفاع وتأمين كفاءة الدفع الأمامي ضد مقاومة الميل.

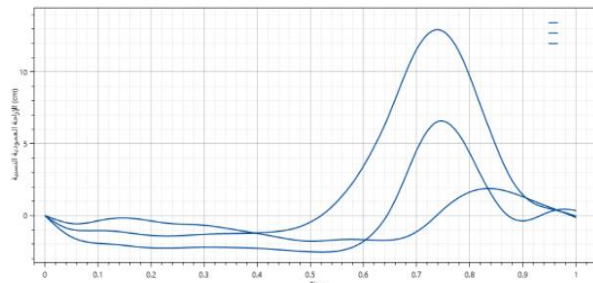
- وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (5) و(6) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب زيادة طردية في المسافة الكلية لحركة النقاط التشريحية الثلاث، مما يعكس استجابة توافقية للجهاز العصبي العضلي لتوسيع المدى الحركي الكلي وضمان كفاءة الأداء الحركي.

جدول (5) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير الإزاحة الرأسية النسبية (cm) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوى)					
الاحصاء	المتغير	النقاط التشرحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة	النقاط التشرحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة
الإزاحة الرأسية النسبية (cm)	نسبة التغير	الكاحل	2.19	4.45	-1.49	12.84	الكاحل	2.01	4.54	-1.43	12.94
	أكبر قيمة	الركبة	-0.31	0.79	-1.46	1.35	الركبة	-0.43	1.10	-1.79	1.88
	أصغر قيمة	المشط	-0.80	2.38	-2.67	5.64	المشط	-0.45	2.62	-2.54	6.55



شكل (8) يوضح الرسم البياني الإزاحة الرأسية النسبية لمستوى السير (المنحدر).



شكل (7) يوضح الرسم البياني الإزاحة الرأسية النسبية لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (5) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (7) (للحالة المستوية) والشكل (8) (للحالة المنحدرة) أن متوسط الإزاحة الرأسية النسبية لنقطة الكاحل قد ارتفع من (2.01 cm) على السطح المستوي إلى (2.19 cm) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بنسبة تغير بلغت (8.60%) وبمقدار تغير بلغ (0.18 cm)، مع انخفاض طفيف في الانحراف المعياري من (4.54) إلى (4.45)، وتراوحت القيم بين (-1.43 و 12.94 cm) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-1.49 و 12.84 cm) في الحالة المنحدرة. وبدلالة الارتفاع الطفيف في قمم منحنى الإزاحة النسبية للكاحل في الشكل (8) مقارنة ب الشكل (7)، يتأكد أن هذا التحول يعكس تعديلاً في المدى العمودي النسبي للحركة لضمان خلوص كافٍ للقدم والتكيف بفاعلية مع ميل السطح أثناء مراحل دورة المشي.

- بالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للإزاحة الرأسية النسبية قد تحول نحو قيم سالبة أقل بوضوح من (-0.43 cm) على السطح المستوي إلى (-0.31 cm) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (-27.53%) وبمقدار تغير بلغ (0.12 cm)، بالتزامن مع انخفاض ملحوظ في الانحراف المعياري من (1.10) إلى (0.79)، وتراوحت القيم بين (-1.79 و 1.88 cm) في الحالة المستوية،

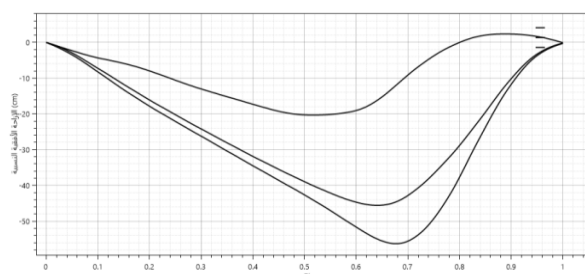
وبين (-1.46 و 1.35 cm) في الحالة المنحدرة. ومع تتبع سلوك المنحنى للركبة في الشكل (8) الذي يظهر استقراراً وتقارباً في سعة التذبذب العمودي مقارنة ب الشكل (7)، يتبين بوضوح قدرة الجهاز العصبي

العضلي على ضبط المدى الرأسي النسبي لمفصل الركبة وتقليل التذبذبات غير الضرورية لترشيد استهلاك الطاقة ودعم استقرار مركز الثقل فوق السطح المائل.

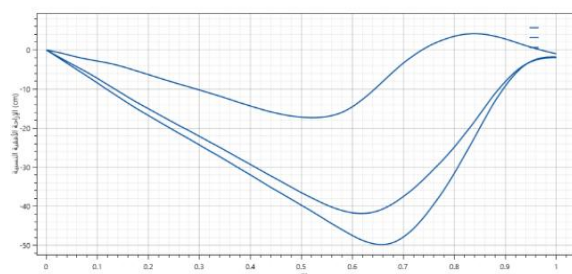
- و بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجلت نسبة تغير عالية بلغت (78.16%)؛ إذ انخفض المتوسط الحسابي للإزاحة الرأسية النسبية من (-0.45 cm) على السطح المستوي إلى (-0.80 cm) على السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (-0.35 cm)، مع انخفاض الانحراف المعياري من (2.62) إلى (2.38)، وتراوح الحدود بين (-2.54 و 6.55 cm) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-2.67 و 5.64 cm) في الحالة المنحدرة. وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (8)، يبرز اتساع وانزياح في عمق القيعان السالبة لمقدمة القدم، وهو ما يتطابق مع متطلبات التحكم الدقيق في زاوية ملامسة الأرض وتوزيع مركبات القوى العمودية في بداية مرحلة الارتكاز على السطح المائل. وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (7) و (8) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يفرض استجابات توافقية متباعدة للنقاط التشريحية؛ حيث يزداد المدى النسبي للكاحل لضمان الخلو، بينما ينضبط النسق العمودي للركبة والمشط لتعزيز كفاءة الثقل والتحكم الحركي.

جدول (6) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير الإزاحة الأفقية النسبية (cm) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					الاحصاء
نسبة التغير	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	
9.58%	0.00	-45.54	15.12	-24.05	الكاحل	0.00	-41.81	13.65	-21.95	الكاحل	الإزاحة الأفقية النسبية (cm)
40.84%	2.37	-20.34	8.00	-8.69	الركبة	4.18	-17.29	7.11	-6.17	الركبة	
10.84%	0.00	-56.27	18.23	-28.12	المشط	0.00	-49.78	16.11	-25.37	المشط	



شكل (10) يوضح الرسم البياني الإزاحة الأفقية النسبية لمستوى السير (المنحدر).



شكل (9) يوضح الرسم البياني الإزاحة الأفقية النسبية لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (6) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (9) (للحالة المستوية) والشكل (10) (للحالة المنحدرة) أن متوسط الإزاحة الأفقية النسبية لنقطة الكاحل قد انتقل باتجاه القيم السالبة من (-21.95 cm) على السطح المستوي إلى (-24.05 cm) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بنسبة تغير بلغت (9.58%) وبمقدار تغير بلغ (-2.10 cm)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (13.65) إلى

(15.12)، وثبات أكبر قيمة عند (cm 0.00) بينما امتدت أصغر قيمة من (-41.81 cm) إلى (-45.54 cm). وبدلالة الانزياح الواضح للمنحنى نحو القيم السالبة الأكبر واتساع عمق القيعان في الشكل (10) مقارنة بـ الشكل (9)، يتأكد أن هذا التحول يعكس توسعاً في المدى المكاني للإزاحة الأفقية النسبية للكاحل لزيادة طول الخطوة والتكيف الفاعل مع متطلبات الارتكاز والتقدم ضد مركبة الميل.

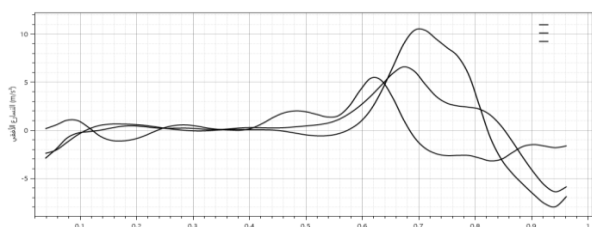
- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للإزاحة الأفقية النسبية قد تحول نحو قيم سالبة أكبر من (-6.17 cm) على السطح المستوي إلى (-8.69 cm) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (40.84%) وبمقدار تغير بلغ (-2.52 cm)، بالتزامن مع ارتفاع الانحراف المعياري من (7.11) إلى (8.00)، وتراوحت القيم بين (-17.29 و -4.18 cm) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-20.34 و -2.37 cm) في الحالة المنحدرة. ومع تتبع سلوك المنحنى للركبة في الشكل (10) الذي يظهر امتداداً ملحوظاً في مسار التذبذب الأفقي النسبي مقارنة بـ الشكل (9)، يتبين بوضوح وجود استجابة توافقية للجهاز العصبي العضلي لضبط الإزاحة الأفقية للمفصل ودعم التوازن الحركي لمركز الثقل فوق السطح المائل.

- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجلت متوسط الإزاحة الأفقية النسبية منتقلاً من (-25.37 cm) على السطح المستوي إلى (-28.12 cm) على السطح المنحدر، بنسبة تغير بلغت (10.84%) وبمقدار تغير بلغ (-2.75 cm)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (16.11) إلى (18.23)، وثبات أكبر قيمة عند (0.00 cm) بينما انخفضت أصغر قيمة من (-49.78 cm) إلى (-56.27 cm). وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (10)، يبرز عمق ملحوظ وانزياح في القيعان السالبة لمقدمة القدم، وهو ما يتطابق مع متطلبات توسع مسافة الوصول الأمامي والخلفي لمقدمة القدم لتأمين قاعدة دعم أمامي آمنة تمنع الانزلاق وتتلاءم مع متطلبات الارتقاء على السطح المائل.

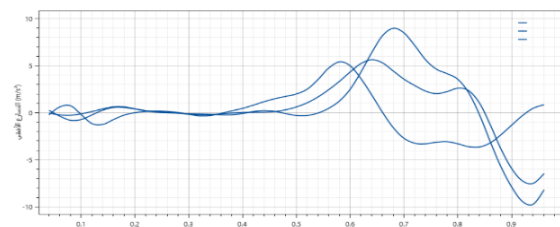
وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (9) و (10) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزواوية (3.1°) يفرض استراتيجية حركية تعتمد على زيادة الإزاحات الأفقية النسبية لجميع النقاط التشريحية نحو الاتجاه السالب لضمان الاستمرارية الحركية وتوزيع الأحمال بفاعلية.

جدول (7) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير التسارع الأفقي (m/s^2) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					
مقدار التغير	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	المتغير
0.09(m/s^2)	6.59	-6.39	2.75	0.55	الكاحل	5.65	-7.50	2.92	0.46	الكاحل	التسارع الأفقي (m/s^2)
0.07 (m/s^2)	5.43	-3.18	2.03	0.05	الركبة	5.42	-3.63	2.26	-0.02	الركبة	
0.09 (m/s^2)	10.40	-7.93	4.32	0.62	المشط	8.99	-9.72	4.10	0.53	المشط	



شكل (12) يوضح الرسم البياني التسارع الأفقي لمستوى السير (المنحدر).



شكل (11) يوضح الرسم البياني التسارع الأفقي لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (7) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (11) (للحالة المستوية) والشكل (12) (للحالة المنحدرة) أن متوسط التسارع الأفقي لنقطة الكاحل قد ارتفع من ($0.46 m/s^2$) على السطح المستوي إلى ($0.55 m/s^2$) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بمقدار تغير بلغ ($0.09 m/s^2$)، مع انخفاض طفيف في الانحراف المعياري من (2.92) إلى (2.75)، وتراوحت القيم بين (-7.50 و 5.65 m/s^2) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-6.39 و 6.59 m/s^2) في الحالة المنحدرة. وبدلالة ارتفاع القمم وانحسار قليل في عمق القيعان السالبة لمنحنى التسارع الأفقي للكاحل في الشكل (12) مقارنة بـ الشكل (11)، يتأكد أن هذا التحول يعكس زيادة كفاءة معدلات السرعة الانتقالية وتوليد قوة الدفع الأمامي اللازمة للتغلب على مقاومة الميل أثناء مرحلة الارتفاع.

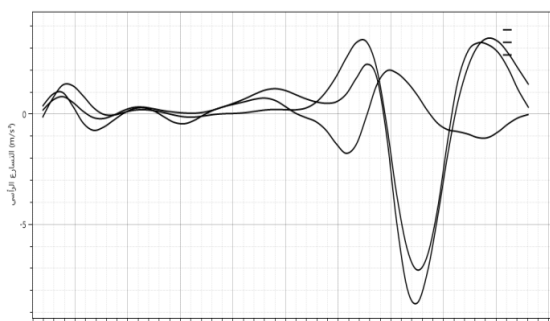
- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للتسارع الأفقي قد تحول من القيمة السالبة (-0.02 m/s^2) على السطح المستوي إلى القيمة الموجبة (0.05 m/s^2) على السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (0.07 m/s^2)، بالتزامن مع انخفاض الانحراف المعياري من (2.26) إلى (2.03)، وتراوحت الحدود بين (-3.63 و 5.42 m/s^2) في الحالة المستوية، وبين (-3.18 و 5.43 m/s^2) في الحالة المنحدرة. ومع تتبع سلوك المنحنى للركبة في الشكل (12) الذي يظهر انتظاماً في الإيقاع وارتفاعاً طفيفاً في قمم التسارع الإيجابي مقارنة بـ الشكل (11)، يتبين بوضوح استجابة الجهاز العصبي العضلي لتعديل معدلات التسارع والتباطؤ للركبة بما يضمن انسيابية الحركة والحفاظ على اتزان مركز الثقل فوق السطح المائل.

- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجلت ارتفاعاً في المتوسط الحسابي للتسارع الأفقي من (0.53 m/s^2) على السطح المستوي إلى (0.62 m/s^2) على السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (0.09 m/s^2)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (4.10) إلى (4.32)، وتراوحت القيم بين (-9.72 و 8.99 m/s^2) في

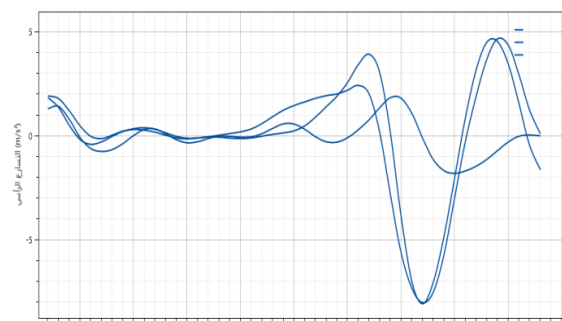
الحالة المستوية، لتصل بين (-7.93 و 10.40 m/s²) في الحالة المنحدرة. وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (12)، يبرز اتساع واضح في سعة القمم الموجبة وقفزة في أكبر قيمة للتسارع، وهو ما يتطابق مع متطلبات زيادة مركبة الدفع الأمامي لمقدمة القدم لتأمين سرعة مغادرة الأرض والتغلب بفاعلية على مقاومة السطح المائل.

وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (11) و(12) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب زيادة في معدلات التسارع الأفقي لمختلف النقاط التشريحية، مما يعكس استراتيجية حركية نشطة لتعزيز قوة الدفع والتقدم بانتظام ضد الانحدار. جدول (8) يوضح التوصيف الإحصائي لبيانات متغير التسارع الرأسي (m/s²) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوى)					
الاحصاء	المتغير	النقاط التشريحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة	النقاط التشريحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة
التسارع الرأسي (m/s ²)		الكاحل	0.03	2.54	-8.57	3.45	الكاحل	0.03	2.81	-8.01	4.65
		الركبة	-0.02	0.80	-1.77	1.96	الركبة	-0.02	0.83	-1.80	1.83
		المشط	0.15	2.27	-7.06	3.28	المشط	0.15	2.69	-8.07	4.55
	مقدار التغير	التشريحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة	التشريحية	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أصغر قيمة	أكبر قيمة



شكل (14) يوضح الرسم البياني التسارع الرأسي لمستوى السير (المنحدر).



شكل (13) يوضح الرسم البياني التسارع الرأسي لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (8) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (13) (للحالة المستوية) والشكل (14) (للحالة المنحدرة) أن متوسط التسارع الرأسي لنقطة الكاحل قد استقر عند القيمة نفسها (10.03 m/s²) على السطحين المستوي والمنحدر بزاوية (3.1°)، بمقدار تغير بلغ (0.0 m/s²)، بالتزامن مع انخفاض طفيف في الانحراف المعياري من (2.81) إلى (2.54)، وتراوح القيم بين (-8.01 و 4.65 m/s²) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-8.57 و 3.45 m/s²) في الحالة المنحدرة. وبدلالة تقارب مسارات المنحنيات وانحسار سعة التذبذب قليلاً في الشكل (14) مقارنة بـ الشكل (13)، يتأكد أن هذا الاستقرار يعكس كفاءة آلية امتصاص الصدمات والتحكم في مركبات القوى العمودية لحظة ملامسة القدم للأرض على السطح المائل.

- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للتسارع الرأسي قد سجل تغيراً طفيفاً نحو الاستقرار من (-0.02 m/s²) على السطح المستوي إلى (-0.01 m/s²) على

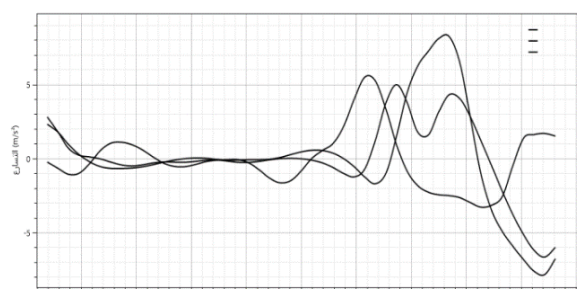
السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (0.01 m/s^2)، مع انخفاض الانحراف المعياري من (0.83) إلى (0.80)، وتراوح الحدود بين (-1.80 و 1.83 m/s^2) في الحالة المستوية، وبين (-1.77 و 1.96 m/s^2) في الحالة المنحدرة. ومع تتبع سلوك المنحنى للركبة في الشكل (14) الذي يظهر انتظاماً وثباتاً عالياً في النسق التذبذبي مقارنة ب الشكل (13)، يتبين بوضوح قدرة الجهاز العصبي العضلي على ضبط معدلات التسارع الرأسي للمفصل وتقليل التذبذبات الحادة لحماية المفاصل العليا والحفاظ على استقرار مركز الثقل.

- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجل المتوسط الحسابي للتسارع الرأسي ارتفاعاً طفيفاً من (0.15 m/s^2) على السطح المستوي إلى (0.16 m/s^2) على السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (0.01 m/s^2)، مع انخفاض ملحوظ في الانحراف المعياري من (2.69) إلى (2.27)، وتراوح القيم بين (-8.07 و 4.55 m/s^2) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-7.06 و 3.28 m/s^2) في الحالة المنحدرة. وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (14)، يبرز انتظام وتراجع طفيف في أقصى قمم وقيعان التسارع الرأسي لمقدمة القدم، وهو ما يتطابق مع متطلبات التوزيع المتوازن للضغوط العمودية وتخفيف حدة الصدمات أثناء الارتقاء على السطح المائل.

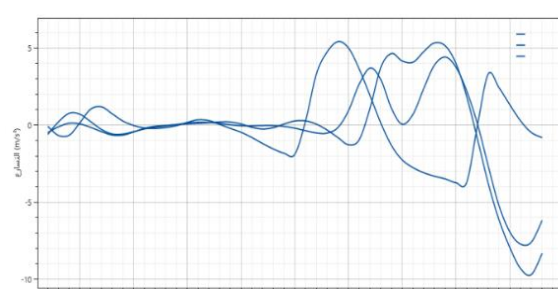
وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (13) و (14) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) لا يحدث تغيرات جذرية في متوسطات التسارع الرأسي، بل يصاحبه تنظيم وتحكم أدق في تذبذبات القوى العمودية لمختلف النقاط التشريحية لضمان الاستقرار وكفاءة امتصاص الصدمات.

جدول (9) يوضح التوصيف الإحصائي لبيانات متغير التسارع (m/s^2) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					المتغير الإحصاء
مقدار التغير	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	النقاط التشريحية	
0.23 m/s^2	5.01	-6.63	2.48	0.02	الكاحل	4.41	-7.71	2.68	-0.21	الكاحل	التسارع (m/s^2)
0.08 m/s^2	5.52	-3.26	1.94	-0.05	الركبة	5.42	-3.74	2.16	0.03	الركبة	
0.27 m/s^2	8.25	-7.81	3.53	0.00	المشط	5.34	-9.70	3.41	-0.27	المشط	



شكل (16) يوضح الرسم البياني للتسارع لمستوى السير (المنحدر).



شكل (12) يوضح الرسم البياني للتسارع لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (9) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (11) (للحالة المستوية) والشكل (16) (للحالة المنحدرة) أن متوسط التسارع لنقطة الكاحل قد تحول من القيمة السالبة (-0.21 m/s^2) على السطح المستوي إلى القيمة الموجبة (0.02 m/s^2) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بمقدار تغير بلغ (0.23 m/s^2)، بالتزامن مع انخفاض الانحراف المعياري من (2.68) إلى (2.48)، وتراوحت القيم بين (-7.71 و 4.41 m/s^2) في الحالة المستوية، لتصبح بين (-6.63 و 5.01 m/s^2) في الحالة المنحدرة. وبدلالة انحسار عمق القيعان السالبة وارتفاع سعة قمم التسارع في الشكل (16) مقارنة بـ الشكل (11)، يتأكد أن هذا التحول نحو القيم الإيجابية يعكس زيادة كفاءة معدلات السرعة والدفع الانتقالي للكاحل للتغلب على مقاومة الميل وتأمين استمرارية التقدم الحركي.

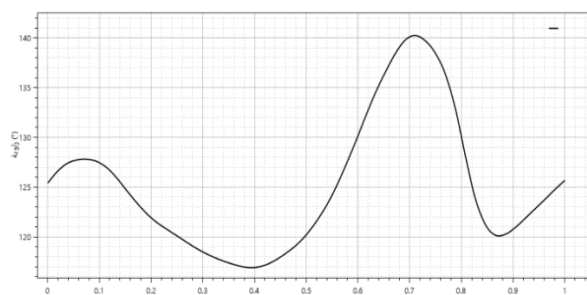
- وبالنسبة إلى نقطة الركبة، يظهر من البيانات والمنحنيات المقارنة أن المتوسط الحسابي للتسارع قد انتقل من (0.03 m/s^2) على السطح المستوي إلى القيمة السالبة الطفيفة (-0.05 m/s^2) على السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (-0.08 m/s^2)، مع انخفاض الانحراف المعياري من (2.16) إلى (1.94)، وتراوحت الحدود بين (-3.74 و 5.42 m/s^2) في الحالة المستوية، وبين (-3.26 و 5.52 m/s^2) في الحالة المنحدرة. ومع تتبع سلوك المنحنى للركبة في الشكل (16) الذي يظهر استقراراً ملحوظاً وانضباطاً في التذبذب النسبي مقارنة بـ الشكل (11)، يتبين بوضوح قدرة الجهاز العصبي العضلي على ضبط معدلات التسارع والتباطؤ للركبة للحد من التذبذبات الحادة والحفاظ على التوازن الديناميكي لمركز الثقل فوق السطح المائل.

- أما بالنسبة لنقطة المشط، فقد سجل المتوسط الحسابي للتسارع تحولاً إيجابياً من القيمة السالبة (-0.27 m/s^2) على السطح المستوي إلى نقطة الصفر (0.00 m/s^2) على السطح المنحدر، بمقدار تغير بلغ (0.27 m/s^2)، مع تقارب الانحراف المعياري (3.41 مقابل 3.53)، وتراوحت القيم بين (-9.70 و 5.34 m/s^2) في الحالة المستوية، لتصل بين (-7.81 و 8.25 m/s^2) في الحالة المنحدرة. وعند مطابقة ذلك مع مسار المنحنى في الشكل (16)، يبرز اتساع واضح وقفزة ملحوظة في أكبر قيمة للتسارع تصل إلى (8.25 m/s^2)، وهو ما يتطابق مع متطلبات زيادة مركبة الدفع لمقدمة القدم لمواجهة انحدار السطح وضمان سرعة مغادرة الأرض بكفاءة.

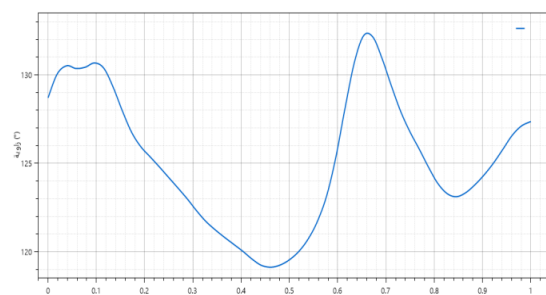
وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (11) و(16) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب تعديلات ديناميكية تتمثل في تحسن معدلات التسارع وتحقيق توازن دقيق في استجابة مفاصل الطرف السفلي لضمان التغلب على مقاومة الميل بكفاءة استهلاك طاقة مثلى.

جدول (10) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير الزاوية (°) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الافقي						مستوى السير الكهربائي (المستوى)					
نسبة التغير	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	المتغير
0.31%	140.24	116.94	7.01	125.02	الكاحل	132.22	119.13	3.65	124.64	الكاحل	الزاوية (°)



شكل (18) يوضح الرسم البياني لزاوية الكاحل لمستوى السير (المنحدر).



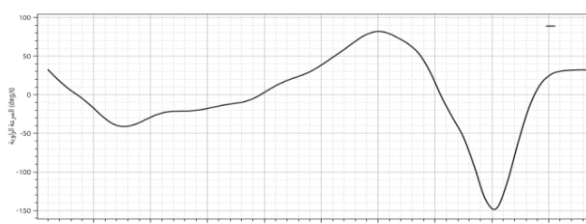
شكل (17) يوضح الرسم البياني لزاوية الكاحل لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (10) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (17) (للحالة المستوية) والشكل (18) (للحالة المنحدرة) أن المتوسط الحسابي لزاوية الكاحل قد ارتفع طفيفاً من (124.64) على السطح المستوي إلى (125.02) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بنسبة تغير بلغت (0.31%) وبمقدار تغير بلغ (0.38)، بالتزامن مع ارتفاع في الانحراف المعياري من (3.65) إلى (7.01)، وتراوحت القيم بين (119.13 و 132.22) في الحالة المستوية، لتتوسع وتصل بين (116.94 و 140.24) في الحالة المنحدرة. وبدلالة اتساع سعة القمم والمدى الزمني والمكاني لمسار منحنى زاوية الكاحل في الشكل (18) مقارنة بـ الشكل (17)، يتأكد أن هذا التحول يعكس مرونة وكفاءة أعلى في مدى حركة المفصل (Range of Motion)، مما يتيح تكيفاً أدق مع متطلبات ملازمة الأرض وامتصاص الصدمات والارتفاع أثناء المشي على السطح المائل.

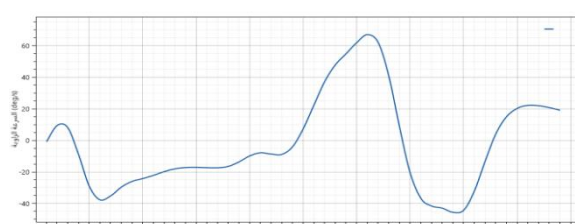
- وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (17) و(18) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب زيادة في مدى زاوية مفصل الكاحل وتوسيعاً في حدود تذبذبها الديناميكي؛ الأمر الذي يعكس استجابة توافقية للجهاز العصبي العضلي لتحسين زوايا الارتكاز وتوفير الدفع المناسب للتغلب على مقاومة الانحدار بكفاءة عالية.

جدول (11) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير السرعة الزاوية ($^{\circ}/s$) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الافقي						مستوى السير الكهربائي (المستوى)					
مقدار التغير	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	المتغير
1.04 $^{\circ}/s$	81.84	-147.34	52.05	-1.58	الكاحل	67.03	-45.56	30.49	-2.62	الكاحل	السرعة الزاوية ($^{\circ}/s$)



شكل (20) يوضح الرسم البياني للسرعة الزاوية لمستوى السير (المنحدر).



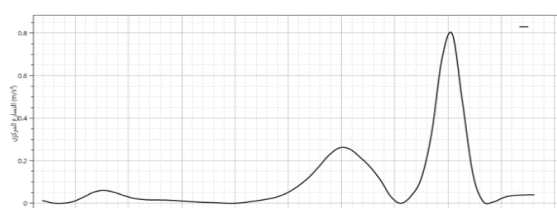
شكل (19) يوضح الرسم البياني للسرعة الزاوية لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (11) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (19) (للحالة المستوية) والشكل (20) (للحالة المنحدرة) أن المتوسط الحسابي للسرعة الزاوية لمفصل الكاحل قد تحول نحو قيم سالبة أقل من ($-2.62^{\circ}/s$) على السطح المستوي إلى ($-1.58^{\circ}/s$) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بمقدار تغير بلغ ($1.04^{\circ}/s$)، بالتزامن مع ارتفاع ملحوظ في الانحراف المعياري من (30.49) إلى (52.05)، وتراوحت القيم بين ($-45.56^{\circ}/s$ و $67.03^{\circ}/s$) في الحالة المستوية، لتتوسع بشكل كبير وتصل بين ($-147.34^{\circ}/s$ و $81.84^{\circ}/s$) في الحالة المنحدرة. وبدلالة الاتساع الحاد في سعة القمم والقيعان والانزياح الواضح في مسار منحنى السرعة الزاوية للكاحل في الشكل (20) مقارنة بـ الشكل (19)، يتأكد أن هذا التحول يعكس زيادة ملحوظة في معدلات التغير الحركي وسرعة دوران المفصل، مما يدل على استجابة ديناميكية عالية للجهاز العصبي العضلي لتوفير السرعة الزاوية اللازمة للارتقاء والتكيف بفاعلية مع متطلبات السطح المائل.

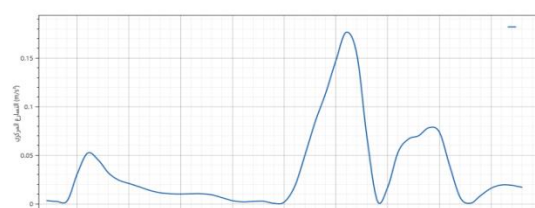
- وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (19) و (20) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب مرونة ومعدلات سرعة زاوية أكبر لمفصل الكاحل لضمان سرعة نقل الحركة والتغلب بكفاءة على مقاومة الانحدار.

جدول (1) يوضح التوصيف الاحصائي لبيانات متغير التسارع المركزي (m/s^2) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الافقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					
مقدار التغير	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	اكبر قيمة	اصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	المتغير
0.07 m/s^2	0.80	0.00	0.17	0.10	الكاحل	0.18	0.00	0.04	0.03	الكاحل	التسارع المركزي (m/s^2)



شكل (22) يوضح الرسم البياني للتسارع المركزي لمستوى السير (المنحدر).

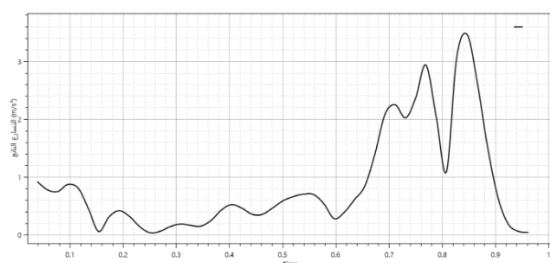


شكل (21) يوضح الرسم البياني للتسارع المركزي لمستوى السير (المستوي).

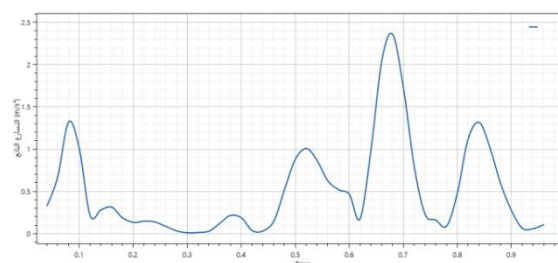
- يتضح من جدول (12) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (21) (للحالة المستوية) والشكل (22) (للحالة المنحدرة) أن المتوسط الحسابي للتسارع المركزي لنقطة الكاحل قد ارتفع من (10.03 m/s^2) على السطح المستوي إلى (10.10 m/s^2) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بمقدار تغير بلغ (10.07 m/s^2)، بالتزامن مع ارتفاع في الانحراف المعياري من (0.04) إلى (0.17)، وثبات أصغر قيمة عند (10.00 m/s^2) بينما قفزت أكبر قيمة بشكل ملحوظ من (10.18 m/s^2) لتصل إلى (10.80 m/s^2) في الحالة المنحدرة. وبدلالة الارتفاع البارز في سعة القمم والامتداد الواضح في مسار منحنى التسارع المركزي في الشكل (22) مقارنة بـ الشكل (21)، يتأكد أن هذا التحول يعكس زيادة في معدلات قوى التسارع المركزي الناتجة عن المسارات الدورانية والانحنائية للمفصل، مما يدل على استجابة ديناميكية نشطة للجهاز العصبي العضلي للتعامل مع متطلبات التوجيه الإشعاعي للطرف السفلي والتغلب بفاعلية على مقاومة السطح المائل.

جدول (2) يوضح التوصيف الإحصائي لبيانات متغير التسارع الناتج (m/s^2) لدورة المشي على مستويين السير الكهربائي.

مستوى السير الكهربائي المنحدر بزاوية (3.1°) عن الأفقي						مستوى السير الكهربائي (المستوي)					
مقدار التغير	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	أكبر قيمة	أصغر قيمة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الزاوية	المتغير
					الكاحل					الكاحل	الإحصاء
											التسارع الناتج (m/s^2)
0.36 m/s^2	3.47	0.04	0.89	0.87	الكاحل	2.36	0.01	0.56	0.51	الكاحل	



شكل (24) يوضح الرسم البياني للتسارع الناتج لمستوى السير (المنحدر).



شكل (23) يوضح الرسم البياني للتسارع الناتج لمستوى السير (المستوي).

- يتضح من جدول (13) ومسارات المنحنيات البيانية في الشكل (23) (للحالة المستوية) والشكل (24) (للحالة المنحدرة) أن المتوسط الحسابي للتسارع الناتج لنقطة الكاحل قد ارتفع من (10.51 m/s^2) على السطح المستوي إلى (10.87 m/s^2) على السطح المنحدر بزاوية (3.1°)، بمقدار تغير بلغ (10.36 m/s^2)، بالتزامن مع ارتفاع في الانحراف المعياري من (0.56) إلى (0.89)، وتراوحت القيم بين (10.01 m/s^2 و 12.36 m/s^2) في الحالة المستوية، لتتوسع بوضوح وتتراوح بين (0.04 و 13.47 m/s^2) في الحالة المنحدرة. وبدلالة الارتفاع الملحوظ في سعة القمم والامتداد المتصاعد لمسار منحنى التسارع الناتج في الشكل (24) مقارنة بـ الشكل (23)، يتأكد أن هذا التحول يعكس زيادة محصلة القوى ومعدلات التسارع الكلية المؤثرة على المفصل، مما يدل على استجابة ديناميكية نشطة من الجهاز العصبي العضلي

لتعزيز قوة الدفع والتحكم الحركي الفاعل للتغلب على مقاومة السطح المائل بكفاءة. وتؤكد النتائج المدمجة بين المؤشرات الإحصائية ومسارات المنحنيات في الشكلين (23) و(24) أن الانتقال إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) يستوجب ارتفاعاً في معدلات التسارع الناتج لمفصل الكاحل لضمان متطلبات التقدم والتوافق العضلي العصبي مع متطلبات الانحدار.

تؤكد مجمل النتائج أن التغير البسيط في ميل السطح (3.1°) ليس مجرد متغير شكلي، بل يفرض تعديلات شاملة و ممنهجة في استراتيجيات التحكم الحركي تظهر بوضوح في تكامل الإزاحات المكانية ومعدلات التسارع والسرعة الزاوية لضمان استمرارية وكفاءة الأداء.

و تشير نتائج الدراسة إلى أن اختلاف ميل سطح جهاز السير الكهربائي من المستوى المستوي إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) ارتبط بتغيرات في النمط الحركي لمفصل الكاحل خلال دورة المشي، تمثلت في تغير قيم الموضع والإزاحة والتسارع والزاوية والسرعة الزاوية والتسارع المركزي والتسارع الناتج. كما أظهرت النتائج زيادة في بعض المتغيرات واتساعاً في مدى وتشتت بعضها الآخر، بما يشير إلى حدوث تكيف حركي في حركة مفصل الكاحل مع اختلاف ميل سطح السير.

ومن الناحية الوظيفية، يمكن تفسير هذه التغيرات في إطار استجابة مفصل الكاحل لمتطلبات المشي على السطح المنحدر، من خلال تعديل نمط حركته للمساهمة في استمرار الحركة والتكيف مع ظروف السطح. إلا أن هذه الدلالات تظل ضمن حدود التفسير الكينماتيكي، ولا يمكن من خلالها الجزم بالتغير في القوى أو العزوم أو الأحمال المفصلية، لعدم قياسها بصورة مباشرة في الدراسة الحالية.

وتتوافق هذه النتيجة بصورة عامة مع ما أشارت إليه دراسة (Kathleen Tulchin, Michael S. Orendurff, Laura A. Karol, 2010) من وجود تغيرات في كينماتيكا القدم وأجزائها عند اختلاف ميل سطح المشي.

الاستنتاجات :-

- 1 - أظهر الانتقال من السطح المستوي إلى السطح المنحدر بزاوية (3.1°) تغيرات في عدد من المتغيرات الكينماتيكية للطرف السفلي خلال دورة المشي، شملت الموضع والإزاحة والمسافة الكلية والتسارع والمتغيرات الزاوية، مع اختلاف مقدار واتجاه التغير تبعاً للنقطة التشريحية والمتغير المدروس.
- 2- أظهر مفصل الكاحل تغيرات ملحوظة في عدد من المتغيرات الكينماتيكية عند المشي على السطح المنحدر، تمثلت في زيادة متوسط الموضع العمودي والمسافة الكلية والإزاحة الرأسية النسبية، إلى جانب

زيادة متوسط التسارع الأفقي والتسارع المركزي والتسارع الناتج، مما يعكس تغيراً في مسار حركة الكاحل ومتطلبات التحكم الحركي أثناء دورة المشي.

3- اتسمت المتغيرات الزاوية لمفصل الكاحل بتغير محدود في المتوسط؛ إذ ارتفع متوسط زاوية المفصل من (124.64°) إلى (125.02°)، في حين ظهر تغير أكبر في مدى وتشتت السرعة الزاوية، حيث انتقل متوسطها من ($-2.62^\circ/\text{ث}$) إلى ($-1.58^\circ/\text{ث}$)، مع ارتفاع الانحراف المعياري من (30.49) إلى ($52.05^\circ/\text{ث}$)، مما يشير إلى أن التكيف الحركي ظهر بصورة أوضح في ديناميكية الحركة الزاوية وتباينها مقارنة بالتغير في متوسط زاوية المفصل.

4- اختلف مقدار واتجاه التغير في المتغيرات الكينماتيكية بين نقاط الكاحل والركبة والمشط، مما يدل على اختلاف الاستجابة الحركية لأجزاء الطرف السفلي عند الانتقال من السطح المستوي إلى السطح المنحدر، ويشير إلى أن التكيف مع ميل سطح السير يحدث من خلال تعديلات حركية متفاوتة بين أجزاء الطرف السفلي.

5- أظهرت بعض المتغيرات الرأسية، وبخاصة متوسط التسارع الرأسي، تغيرات محدودة بين حالتي المشي، في حين كانت التغيرات أكثر وضوحاً في بعض المتغيرات الأفقية والتسارعية والزاوية، مما يشير إلى أن التكيف الحركي مع الميل لم يعتمد بصورة أساسية على زيادة الحركة الرأسية، وإنما ظهر بصورة أكبر في مسار الحركة والتسارع والديناميكية الزاوية.

6 - تشير النتائج، في حدود دراسة الحالة الفردية، إلى أن المشي على سطح جهاز السير المنحدر بزاوية (3.1°) ارتبط بتعديل في النمط الكينماتيكي للطرف السفلي، وبصورة خاصة في حركة مفصل الكاحل، بما يتوافق مع حدوث تكيف حركي مع اختلاف ميل سطح السير.

- التوصيات:-

- الاستفادة من المتغيرات الكينماتيكية في تقييم وتطوير برامج التدريب والتأهيل التي تستخدم جهاز السير الكهربائي، مع مراعاة أن اختيار درجة الميل ينبغي أن يتناسب مع أهداف الأداء وحالة الفرد.
- دراسة تأثير درجات ميل متعددة لجهاز السير الكهربائي، بدلاً من الاقتصار على زاوية (3.1°)، بهدف تحديد كيفية تغير المتغيرات الكينماتيكية تدريجياً مع زيادة أو انخفاض زاوية الميل.
- إجراء دراسات أوسع على عينات أكبر من الذكور والإناث ومن مستويات عمرية وتدريبية مختلفة، للتحقق من إمكانية تعميم النتائج المتعلقة بالتغيرات الكينماتيكية عند المشي على السطح المنحدر.

- إجراء تحليل أكثر تفصيلاً لمفصل الكاحل خلال مراحل دورة المشي، ولا سيما مرحلتَي الوقوف والتأرجح، بدلاً من الاعتماد على المتوسطات الكلية لدورة المشي فقط.

المراجع العربية :

طلحة حامد حسام الدين. (2016). *التحليل الحركي والبيوميكانيكي للنشاط الرياضي: المبادئ والتطبيقات*. الإسكندرية: دار المعارف.

علاء الدين أحمد غانم، ومحمد محمود الحصري. (2018). *البيوميكانيكا التطبيقية في المجال الرياضي*. القاهرة: دار الفكر العرب

المراجع الانجليزية :

- Haggerty, Dickin, Popp, Wang. (2014). The influence of incline walking on lower extremity kinematics and kinetics in healthy individuals. *Physical Treatments. Specific Physical Therapy Journal*, pp. , 4(3), 15-24.
- Kathleen Tulchin, Michael S. Orendurff, Laura A. Karol. (2010). The effects of surface slope on multi-segment foot kinematics in healthy adults. *Gait & Posture*, pp. 446 – 450.
- Kundu, Rohit ؛Krieger, Taj ؛Sanchez, Ricardo ؛Lankford,. (2024). The Interaction of Treadmill Type and Incline Slope on Biomechanics and Muscle Activation During Human Locomotion. *International Journal of Exercise Science*, pp. 1478–1492.
- Lu, Al-Juaid, Al-Amri. (2023). Gait Stability Characteristics in Able-Bodied Individuals During Self-paced Inclined Treadmill Walking: Within-Subject Repeated-Measures Study. *JMIR Formative Research*, pp. , 7, e42769.
- Padulo, Chamari, Ardigo. (2014). Walking and running on treadmill: The standard criteria for kinematics studies. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, pp. 159–162.
- Roberta Heale , Alison Twycross. (2018). What is a case study? *Evidence-Based Nursing*, pp. 7–8.
- Semaan, Wallard, Ruiz, Gillet, Leteneur, Simoneau-Buessinger. (2022). Is treadmill walking biomechanically comparable to overground walking? 92, 249–257. systematic review. *Gait & Posture*.
- Tarnita, Oncescu, Vaduva, Tenovici, Petrovici,. (2019). Experimental study of the treadmill inclination influence on the flexion-extension angles of the lower limbs joints. 45-56. University of Craiova.