مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (4) – 2025: 14- 25

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (4) -2025: 14-25

نمذجة ومحاكاة الأداء الديناميكي لسيارة كهربائية

ربيع عدنان علو*[1] مسلم طعمة[2] عباس صندوق[3]

*[1]. مهندس طالب دكتوراه، قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية. rabbehalo1@Damascusuniversity.edu.sy

[2]. أستاذ، دكتور، قسم هندسة السيارات والآليات الثقيلة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية. MussallamTomeh@damascusuniversity.edu.sy

[3]. أستاذ، قسم الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية.
AbbasSandok@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تم في هذا المقال وضع خوارزمية رياضية تعبر عن ديناميك السيارة الكهربائية التي تم تصميمها مع الأخذ بعين الاعتبار التغيرات التي طرأت على ديناميك السيارة الكهربائية المصممة مقارنة مع ديناميك السيارة التقليدية من خلال هذه الخوارزمية تم وضع النموذج الرياضي الحاسوبي العام للسيارة الكهربائية في بيئة برنامج ماتلاب لتتم عبر هذا النموذج عملية المحاكاة على السيارة الكهربائية المصممة وذلك وفقا لأربع حالات عمل مختلفة تم دراستها لطرق ذات ميول مختلفة قد تتعرض لها السيارة خلال مسيرها الفعلي من خلال نتائج هذه المحاكاة الحاسوبية التي تمت والقيم التي عليها إلى حالات تحقق شرط الحركة والمسير للسيارة المصممة وبالتالي تحديد الميل الأعظمي للطرق التي يمكن للسيارة الكهربائية المصممة التغلب عليها والمقترحات التي تحقق زيادة هذه القيمة.

الكلمات المفتاحية: خوارزمية رياضية – النموذج الرياضي الحاسوبي – السيارة الكهربائية المصممة – ميل الطريق الأعظمي.

تاريخ الايداع: 2023/1/25
تاريخ القبول: 2023/12/11

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

Modeling and simulating the dynamic performance of an electric car

Rabbeh Adnan Alo*[1] Mussallam Tomeh[2] Abbas Sandok[3]

*[1]. Engineer, (PhD Student), Engineering Department of cars and heavy machinery, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria. rabbehalo1@Damascusuniversity.edu.sy

[2]. Professor, Engineering Department of cars and heavy machinery, Faculty of Mechanical &Electrical Engineering, Damascus University, Syria. MussallamTomeh@damascusuniversity.edu.sy

[3]. Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria. AbbasSandok@damascusuniversity.edu.sy

Received: 25/1/2023
Accepted: 11/12/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

In this article, a mathematical algorithm was established to express the electric car dynamics, which was designed considering the dynamic changes comparing the designed electric car to the traditional car. Through this algorithm, the general computer mathematical model of the electric car was establishedin the environment of Matlab program for the simulation process on the electric car designed according to four different working cases studied for different tangents roads that the car might encounter during its actual track , to conclude, from the results of this computer simulation and the values that were obtained, the cases of achieving the movement and road condition of the designed car, and thus determine the greatest value for the of the roads that the designed electric car can overcome and recommendations that achieve an increase in this value.

Key Words: Mathematical algorithm - Computer mathematical model - Designed electric car - Maximum road slope

المقدمة:

كانت وما زالت السيارات الكهربائية تمثل الحل البديل والأكثر واقعية في الحلول مكان السيارات التقليدية لجوانب عديدة ومزايا كثيرة تتمتع بها هذه السيارات منها ما هو بيئي ومنها ما هو اقتصادي ومنها ما يندرج تحت متطلبات الحداثة والتطور الزمني في مختلف الصناعات حيث تزداد نسبة السيارات الكهربائية في مختلف أسواق وطرقات العالم ليتم وبشكل تدريجي الاستعاضة عن السيارات التقليدية بهذا النوع من السيارات التي تتمتع بمواصفات فنية وتصميمية عالية الجودة والدقة وتفوق بكثير من الأحيان الميزات التي كانت معتمدة في السيارات التقليدية.

هدف البحث وأهميته:

إن الهدف من هذه الورقة العلمية هي القيام بنمذجة المحددات الديناميكية لسيارة كهربائية تم تنفيذها وتصميمها مخبريا بالكامل ويعود الهدف من هذه الدراسة إلى مقارنة النتائج التي سيتم الحصول عليها نمذجيا في هذه المقالة مع القيم الفعلية الحقيقية التي سيتم أخذها من التجارب العملية على السيارة المنفذة مدى تقارب النتائج ومدى صوابية الدراسات النظرية والنمذجية وإمكانية مقاربتها للواقع عند التنفيذ كما تنبع أهمية هذا البحث من إمكانية اعتماد هذه المنهجية العلمية طريقة دائمة في الدراسات العلمية للحصول على نتيجة من خلال الدراسات النمذجية قبل الشروع في التصميمات العملية وما يترتب عليها من كلف اقتصادية وزمنية في حال رغب باحثين آخرين القيام بمشاريع تصميمية تنفيذية عملية لسيارات كهربائية لذلك يمكن اعتبارها خوارزمية عمل للباحثين في نفس المجال.

خطوات البحث:

1- المعادلات والعلاقات الرياضية الناظمة لديناميك السيارة الكهربائية المصممة (النموذج رياضي).

2- وضع النموذج الحاسوبي العام المعبر عن العلاقات الرياضية للسيارة الكهربائية المصممة (خوارزمية النموذج).

3- المنحنيات البيانية المعبرة عن كافة المحددات الديناميكية للسيارة المصممة وفق الحالات التي تم فرضها في هذا المقال.

4- جدول يبين كافة النتائج التي تم الحصول عليها للحالات المدروسة.

5- مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها واقتراح التوصيات.

البيانات التصميمية للسيارة:

تم تصميم الهيكل المعدني والأبعاد الخارجية للسيارة المصممة على الأبعاد والقياسات المرجعية لسيارة كهربائية مصممة كما يبين الجدول التالي: [4]

الجدول(1) الأبعاد التصميمية للسيارة المصممة

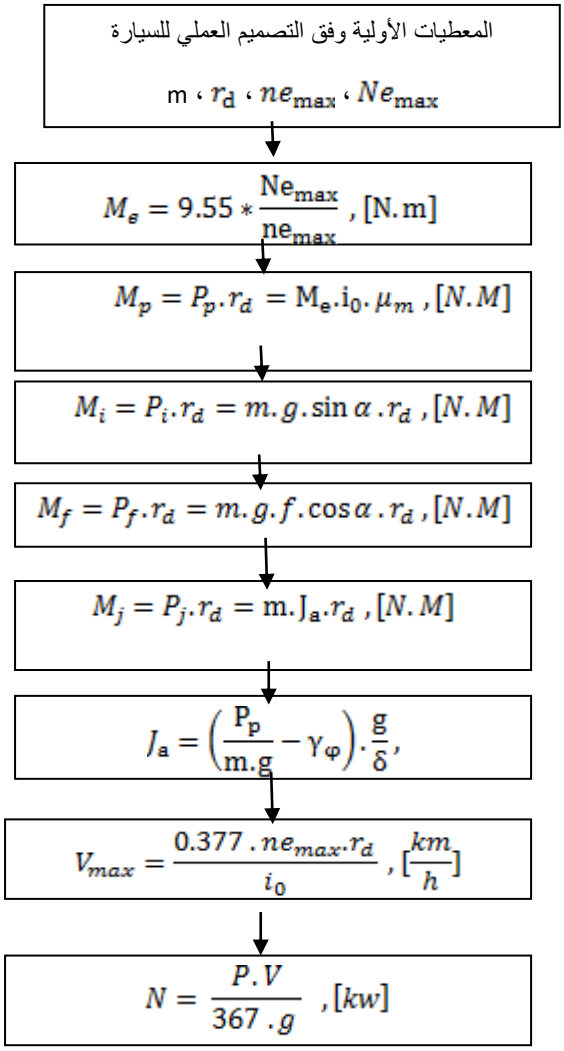
الطول (سم)	230
العرض (سم)	110
الارتفاع (سم)	140
جملة التوجيه الأمامية فقط	75 كغ
المحور الخلفي مع الدفرنس	60 كغ
الإطارات الأربعة مع الجنط	64 كغ
المحرك الكهربائي	30 كغ

الدراسة النظرية:

هذه الدراسة وضع خوارزمية حساب المؤشرات الديناميكية للسيارة التي تم تصميمها وفقا للمعطيات التصميمية المعروفة وللعلاقات الرياضية التي تعبر عن كيفية حساب بقية المحددات الديناميكية التي تعبر عن أداء السيارة الكهربائية المصممة.

الجدول (2) دلالات المحددات في الخوارزمية

المحدد	الشرح
Ne_{max}	الاستطاعة العظمى للمحرك
ne_{max}	السرعة العظمة للمحرك
r_d	نصف القطر الديناميكي للإطار
m	كتلة السيارة
M_e	العزم الكهربائي للمحرك
P_p،M_p	عزم وقوة الجر الواصلة للعجلات القائدة
α	زاوية ميل الطريق
i_0	نسبة التخفيض في الجهاز التفاضلي
μ_m	المردود الميكانيكي
M_i ، P_i	عزم وقوة الميل
M_f، P_f	عزم وقوة الاحتكاك
P_j ،M_j	عزم وقوة العطالة
J_a	تسارع السيارة
δ	ثابت العطالة
γ_φ	المقاومة الاجمالية للطريق
V_{max}	السرعة العظمى
N	الاستطاعة الواصلة للعجلات القائدة والناتجة عن مقاومات حركة السيارة



في هذه الخوارزمية الحسابية تم ذكر القوى المقاومة والمساعدة على الحركة لحالة السيارة الكهربائية المصممة مع لحظ التغيرات والاختلافات التي حصلت عن ديناميك السيارة التقليدية والقوى التي لم تعد موجودة أساسا [1,2,3,5,6]. بينت هذه الدراسة أنه في حالة السيارة الكهربائية المصممة أصبح عزم جر يقابله ثلاث عزوم ممانعة للحركة وليتحقق شرط حركة السيارة يجب أن يتحقق الشرط الآتي:

$$M_p > M_i + M_f + M_j$$

نمذجة ومحاكاة الأداء الديناميكي لسيارة كهربائية

يجب أن يبقى عزم الجر أكبر من جميع العزوم وفي مختلف الظروف ليتحقق مسير السيارة.

يبين الجدول التالي محددات المحرك الكهربائي المستخدم إضافة إلى بعض المحددات التصميمية للسيارة:

الجدول (3) قيم بعض المحددات التصميمية

المحدد	القيمة
نوع المحرك	تحريضي ثلاثي الطوار
الاستطاعة العظمى	4.5 KW
التردد	50 HZ
سرعة دوران المحرك ne_{max}	1430 rpm
التوتر الاسمي	400 V
نصف قطر العجلة rd	0.27 m
نسبة التخفيض i_o	1:4
المردود الميكانيكي μ_m	0.90
وزن السيارة المصممة m	500 kg

في عملية النمذجة كان المدخل لدينا في بيئة ماتلاب هي زاوية ميل الطريق وأخذت لعدة حالات لطرق ذات ميول مختلفة وطريق أفقي ووفقاً لهذا التغير تم الحصول على المنحنيات البانية التي تعبر عن تغير كل من قوى وعزوم الجر ومقاومات الحركة وفقا للحالة المدروسة وتبيان قيم كل محدد منهم كما سنجد في عملية المحاكاة التي تمت والنتائج التي حصلنا عليها في الجدول (4) كما يمكن لباحثين مهتمين دراسة تغيير قيمة هذا المدخل زاوية ميل الطريق على استطاعة الجر واستطاعات مقاومة حركة السيارة.

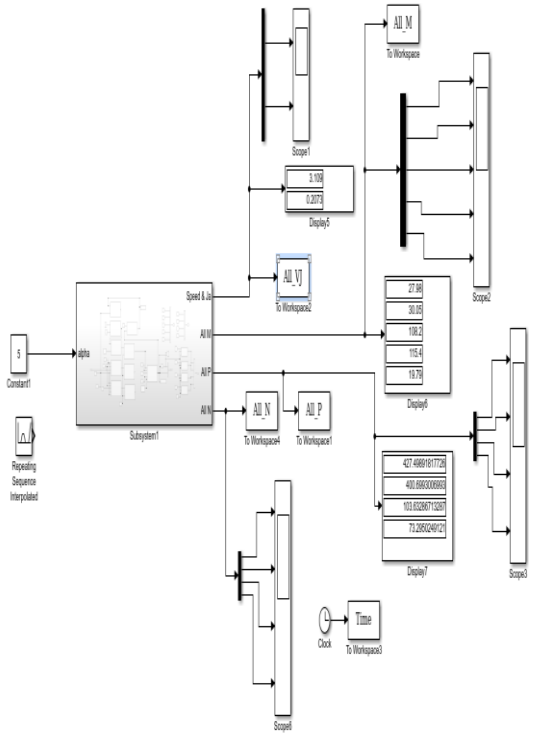
النموذج الحاسوبي:

تم تصميم النموذج الرياضي العام المعبر عن ديناميك السيارة الكهربائية المصممة في بيئة برنامج ماتلاب 2017 ومحاكاة عمل السيارة المصممة وفق حالات عمل مختلفة ولطرق ذات ميول مختلفة لبيان مدى استجابة السيارة لمتطلبات المسير المختلفة.

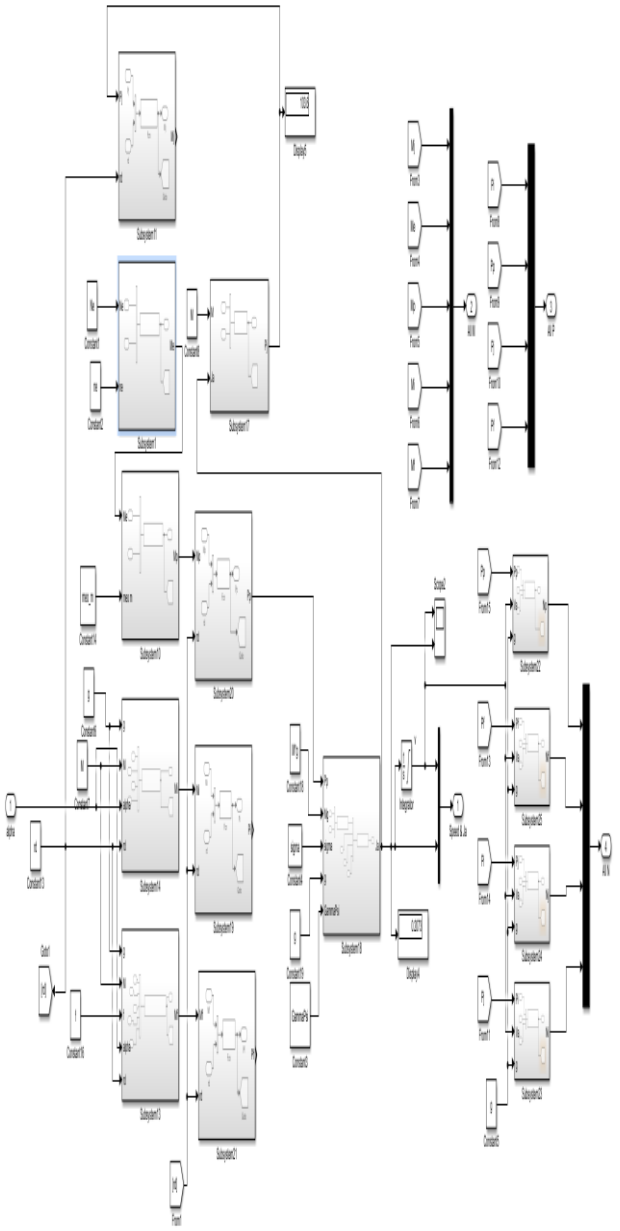
فيما يلي النموذج العام المعبر عن المعادلات الرياضية التي تصف ديناميك السيارة الكهربائية المصممة في بيئة ماتلاب، علو، طعمه وصندوق

حيث يبين الشكل (2) النموذج الرياضي الخاص بكل محدد حيث يشكل كل صندوق المعادلات الرياضية المعبرة عن قوى الجر ومقاوماتها ومن ثم عزم الجر والعزوم المقاومة للحركة إضافة لوضعنا استطاعة الجر والاستطاعات المقاومة للحركة في هذا النموذج أي أنه تم في هذا النموذج تحويل النموذج الرياضي الموضح في الخوارزمية السابقة إلى نموذج حاسوبي في بيئة ماتلاب ' أما الشكل (1) فهو النموذج العام حيث تم دمج كافة قيم القوى والعزوم والاستطاعات ضمن عنصر في بيئة ماتلاب ليكون دخل هذا العنصر زاوية ميل الطريق التي كانت هي المتغير المدروس أثره على كافة المحددات الأخرى ليصار إلى معالجة تغير هذه القيمة ضمن العنصر الشامل والحصول على كافة نتائج المحددات المدروسة.

مخطط مبسط للشكل (1)



الشكل(1) النموذج الرياضي في بيئة ماتلاب2017[7]

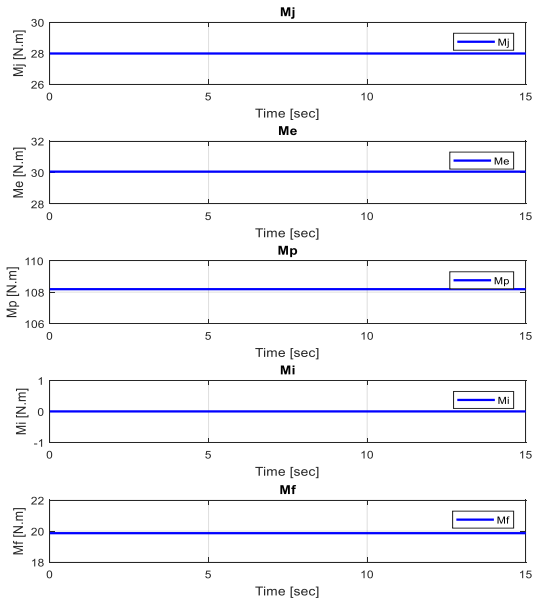


الشكل (2) النموذج الرياضي في بيئة ماتلاب2017 [7]

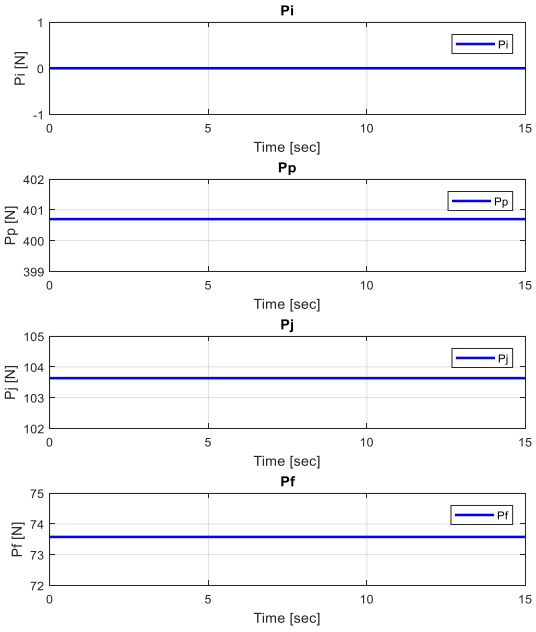
المنحنيات البيانية للحالات المدروسة:

الحالة الأولى: حالة طريق أفقي لا يوجد ميول $\alpha = 0$، ومن خلال محاكاة أداء عمل السيارة المصممة من خلال النموذج الرياضي العام

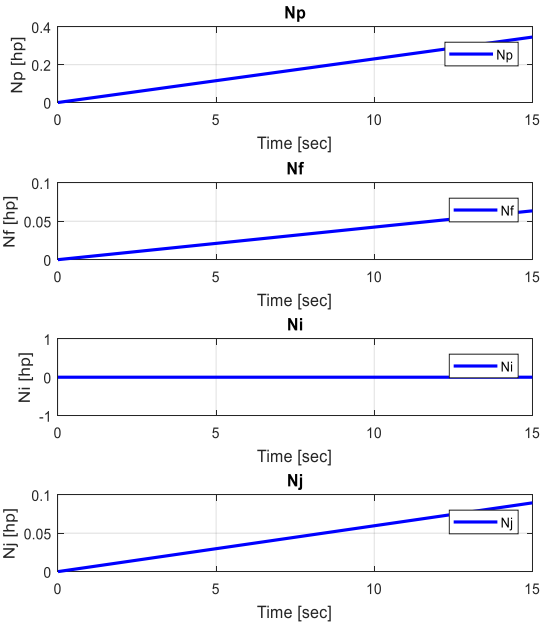
السابق في بيئة ماتلاب على المنحنيات البيانية التالية المعبرة عن أداء السيارة:



الشكل(3) قيم العزوم

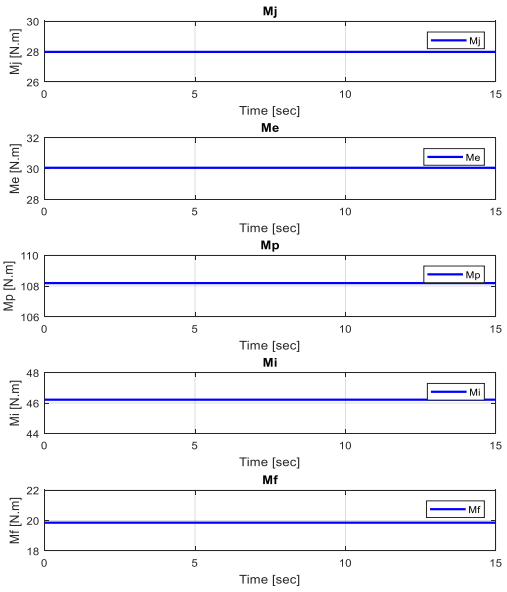


الشكل (4) قيم القوى

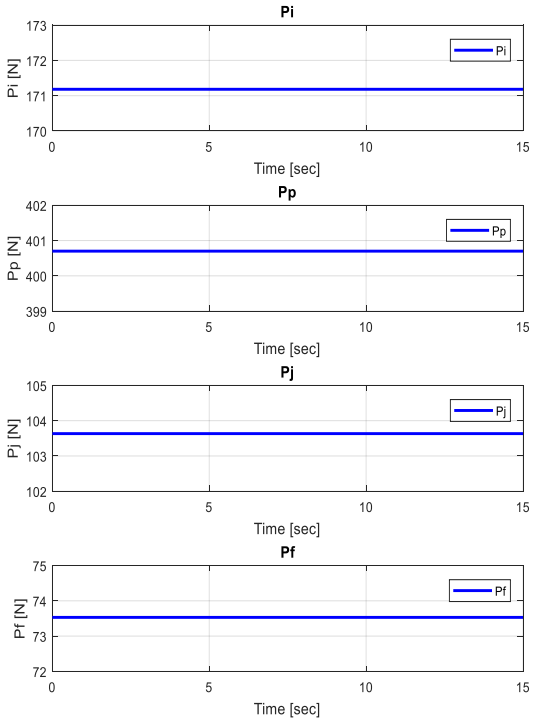


الشكل (5) قيم الاستطاعة

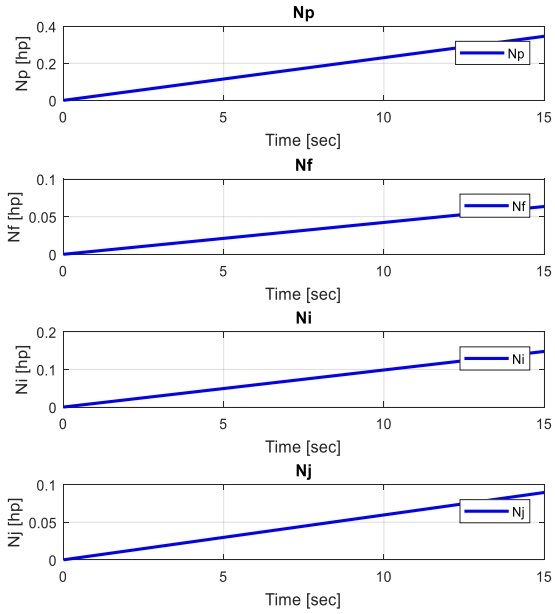
الحالة الثانية: طريق ذو ميول موجبة، ومن خلال محاكاة أداء عمل السيارة في بيئة ماتلاب عى المنحنيات البيانية التالية:



الشكل (6) قيم العزوم



الشكل (7) قيم القوى

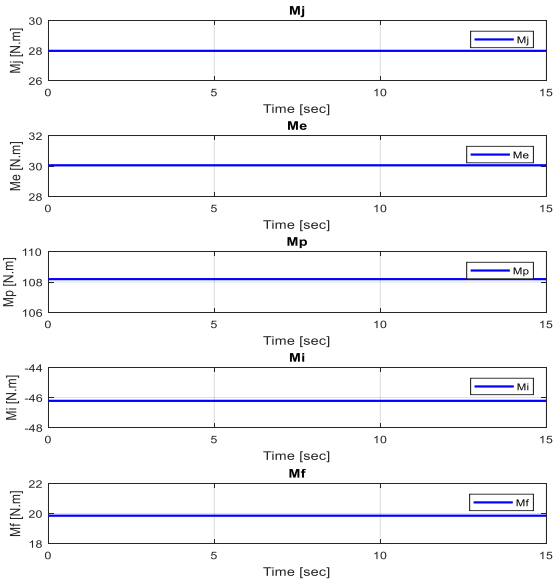


الشكل (8) قيم الاستطاعة

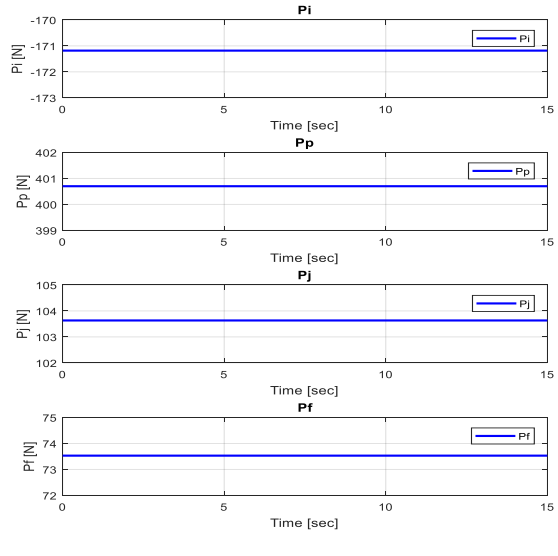
نمذجة ومحاكاة الأداء الديناميكي لسيارة كهربائية علو، طعمه وصندوق

الحالـة الثالثـة: طريـق ذو ميـول سـالبة (هـابط) $\alpha = -2$

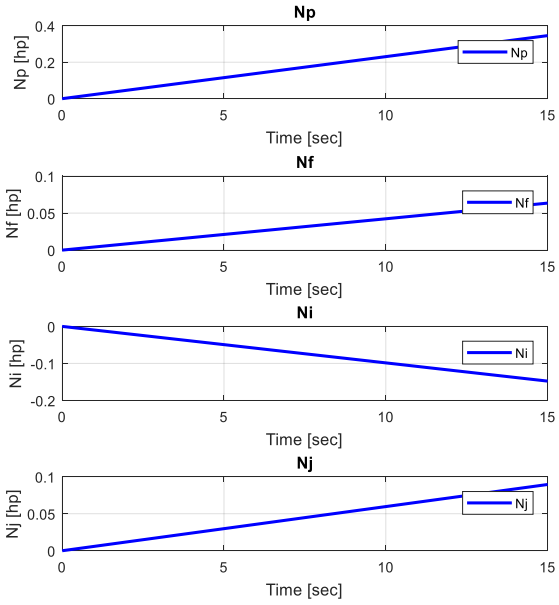
وعند المحاكاة على المنحنيات النتائج التالية:



الشكل(9) قيم العزوم



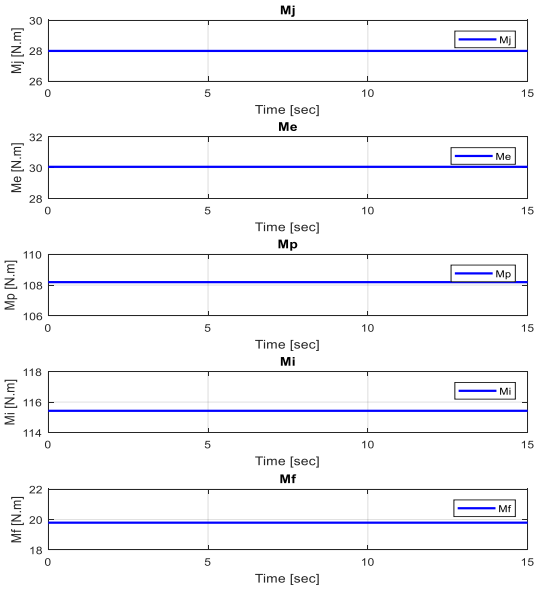
الشكل(10) قيم القوى



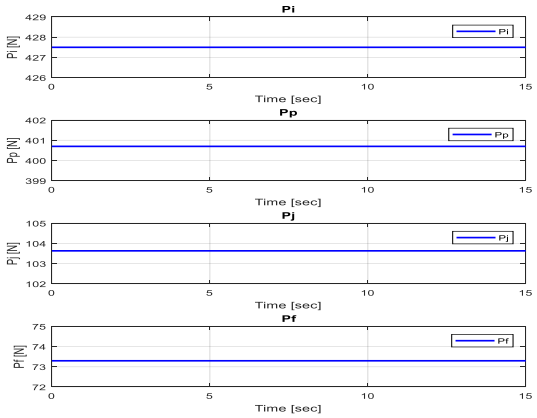
الشكل(11) قيم الاستطاعة

الحالـة الرابعـة: لحالـة طريـق ذو ميـول صـاعدة $\alpha = +5$

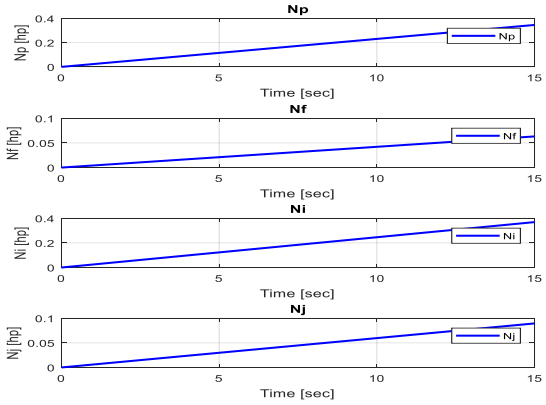
كانت منحنيات النتائج كالتالي:



الشكل(12) قيم العزوم



الشكل(13) قيم القوى



الشكل(14) قيم الاستطاعة

يبين الجدول قيم محددات العزوم والقوى للسيارة المصممة وفقا للحالات الأربعة المدروسة علما أن العزوم واحدتها(N.M)، والقوى واحدتها (N):

الجدول (4) قيم العزوم والقوى للسيارة المصممة

المحدد	الحالة الأولى (طريق أفقي)	الحالة الثانية $\alpha = +2$	الحالة الثالثة $\alpha = -2$	الحالة االرابعة $\alpha = +5$
Mj	28	28	28	28
Me	30	30	30	30
Mp	108	108	108	108
Mi	0	46	- 46	115
Mf	20	20	20	20
Pi	0	171	171-	427.5
Pp	401	401	401	401
Pj	103.8	103.8	103.8	103.8
Pf	73.5	73.5	73.5	73.5

في الجدول (2) السابق قيم كل من العزوم والقوى التي حصلنا عليها من خلال محاكاة النموذج الرياضي المصمم في بيئة ماتلاب أما قيم الاستطاعة فقد كانت قيمها متغيرة وفقا للسرعة التي تسير بها السيارة وذلك وفقا لكل نوع من أنواع الاستطاعة ولكل حالة من الحالات المدروسة مع التنويه هنا إلى أن قيمة الاستطاعة العظمى التي يمكن أن نحصل عليها غير موجودة في قيم هذه المحاكاة كونه يتم الحصول عليها عند قيمة سرعة دوران محددة للمحرك الكهربائي المستخدم وهذه السرعة لم نحصل عليها عمليا خلال التصميم للسيارة الكهربائية المدروسة كون التصميم تم على سرعة دوران إقلاع واحدة للمحرك الكهربائي المستخدم وبناء على هذه السرعة تم حساب الاستطاعات الموافقة لسرعة السيارة الخطية كما بينت المنحنيات السابقة لكل حالة مدروسة أما منحنيات قيم السرعة فقد وجدنا أن سرعة السيارة الخطية تستمر في الارتفاع منذ الانطلاق حتى الوصول إلى السرعة القصوى التي يمكن للسيارة المصممة الوصول إليها والتي تجاوزت 30 km/h بقليل.

مناقشة النتائج:

1- من المحاكاة الديناميكية السابقة للسيارة المدروسة أن قيم عزم المحرك الكهربائي M_e المستخدم في تصميم السيارة الكهربائية ثابت القيمة لكافة الحالات وهذه الحالة صحيحة ومنطقية كون المحرك لم يتم تغييره وبقي نفسه المستخدم في السيارة المصممة ولكافة الحالات.

2- نجد أيضاً أن قيمة عزم الجر الواصل إلى العجلات M_p القائدة ثابت القيمة لكافة الحالات المدروسة وهذه الحالة أيضا صحيحة كون آلية انتقال القدرة من المحرك الكهربائي المستخدم في التصميم وصولا إلى العجلات والجهاز التفاضلي المستخدم لم تتغير وفقا لكل حالة بل بقت ثابتة .

3- العزم المعبر عن عطالة حركة السيارة M_j بقي ثابتا في الحالات المدروسة أيضا وهذا يعود كونه في حالة السيارة المصممة لا يوجد عطالة ناتجة عن كتلة الأجزاء الدوارة في

السيارة والتي نجدها في السيارة التقليدية وذلك لعدم وجود المكونات التي ينتج عنها هذه العزوم فضلا عن أنه في تم التعبير عن هذا العزم وفقا لكتلة السيارة وتسارعها الخطي فقط.

4- العزم الناتج عن ميل الطريق M_i من المحاكاة السابقة متغيرا وفقا لكل حالة مدروسة.

5- العزم الناتج عن الاحتكاك مع سطح الطريق M_f قيمه ثابتة تقريبا لم تتغير من الناحية الفعلية يوجد تغير طفيف جدا يتعلق ب $\cos \alpha$ ويكون بأجزاء من القيمة العشرية لم يلحظ في الأرقام لصغره وذلك كون قيم زاوية ميل الطريق المأخوذة في المدروسة صغيرة وهذا ما سيتم تفسيره لاحقا في هذه الورقة العلمية ضمن الخلاصة.

6- مناقشة قيم القوى المعبرة عن ديناميك السيارة المصممة P_p, P_j, P_f, P_i، هي نفسها لحالات العزم وذلك كون العزوم ناتجة عن قيم هذه القوى مضروبة في نصف القطر الديناميكي للعجلات المستخدمة في التصميم العملي.

7- القوة المعبرة عن قوة مقاومة الهواء التي تتعرض لها السيارة تم إهمالها كون السيارة المصممة لم تتجاوز سرعتها ال 40 km/h، وبالتالي تهمل قوة مقاومة الهواء في هذه الحالة وكل ما ينتج عنها.

8- قيم الاستطاعة لحالة السيارة المصممة تتعلق بالقوة التي نتجت عنها الاستطاعة وبالسرعة الخطية للسيارة ولذلك نجد من المنحنيات البيانية للمحاكاة اختلاف قيم الاستطاعة وفقا لقيم هذين المحددين.

9- لم نلحظ أي دراسة أو محدد يعبر عن أثر الرياح في هذه الورقة العلمية ويعد هذا لكون مقامة الرياح في السيارات تهمل عندما تكون سرعة السيارة أقل من 40 كم/ سا، وعلى اعتبار هذه الورقة العملية تحاكي جانب من سيارتنا المخبرية المصممة والتي لم تتجاوز سرعتها العظمى 40 كم/سا فقد تم إهمال أثر مقاومة الرياح على السيارة.

10- يمكن مناقشة حالة مسير السيارة إلى الوراء وتضمين هذه الحالة في الدراسة ولكننا في هذه الورقة العملية اكتفينا بالحالات الأربع المدروسة كون حالة المسير إلى الوراء سيترتب عليها اختلافات في العملية الحسابية وقيم كافة المحددات حيث يمكن إفراد ورقة علمية خاصة لإجراء دراسة هذه الحالة ومتغيراتها، فضلاً عن أن هدف هذه الورقة العلمية كان معرفة قيمة أعلى ميول للطريق تستطيع السيارة المصممة اجتيازها عند الحركة الأمامية.

الخلاصة:

إذا بتطبيق شرط الحركة ومن مراجعة قيم المحددات والتي تعبر عن ديناميك السيارة الكهربائية المصممة فأن شرط الحركة محقق في الحالات الثلاث الأولى المدروسة فقط ، أما في الحالة المدروسة الرابعة فأن الشرط غير محقق كون قيم القوى والعزوم التي تقاوم حركة السيارة وتمانع سيرها أكبر من قوى الجر والشد الواصلة إلى العجلات القائدة والتي تعطي السيارة حركتها أي أن السيارة المصممة وفقا لهذه النتائج والقيم لا تستطيع أن تتغلب وتسير على طريق يكون ميله عن خط الأفق يزيد أو أكبر من 5 درجات وعليه ليكون شرط الحركة محقق دوماً يجب أن تكون زاوية الميل للطريق دائما $\alpha < 5^\circ$ لذلك يمكن أن يتم في الدراسات المستقبلية العمل على جعل قوى الجر والشد الواصلة للعجلات القائدة تصبح أكبر لزيادة قيمة ميول الطريق التي يمكن للسيارة التغلب عليها وذلك من خلال استثمار الاستطاعة العظمى للمحرك الكهربائي المستخدم وذلك من خلال تزويد السيارة بنظام قيادة كهربائية يمكننا من الحصول على سرعات دوران جزئية تكافئ الاستطاعة العظمى وبالتالي تحقيق قيم عزوم أكبر قادر المحرك الكهربائي أن يقدمها عند سرعات دوران منخفضة تمكن السيارة بالتالي التغلب على الطرق ذات الميول الأكبر من 5 درجات.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

References:

1- M. Ehsani, Y.Gao, and A.Emadi,) 2010(, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory, and Design", 2d edition, Tylor&Francis Group, New York.

2- Sheldon S. Williamson. (2013) "Energy Management Strategies for Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles". Springer Science+Business Media New York.

3- Go. Duarte and P. Baptista. (2015) "Analysis of Hybrid Vehicle Configurations Based on Real-World on-Road Measurements". Nova Science Publishers, Inc

4- DAVIDA.CROLLA, "Automotive engineering Powertrain,Chassis system and Vehicle body",2009 .

5- C.Mi, M. A. Masrur, and D. W. Gao. (2011) "HYBRID ELECTRIC VEHICLES PRINCIPLES AND APPLICATIONS WITH PRACTICAL PERSPECTIVES". John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

6- W. Liu. (2017) "HYBRID ELECTRIC VEHICLE SYSTEM MODELING AND CONTROL". 2nd ed, John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

7- MATLAB PROGRAM .