منظومة كبح تلقائية لمركبة باستخدام المسيطر المضبب (Fuzzy Controller)

*** أحمد صباح الاعرجي ،* أحمد ابراهيم الدليمي، ** حيدر صباح الاعرجي**

تاريخ التسلم :15/10/ 2004

تاريخ القبول: 2005/2/24

الخلاصة

في هذا البحث تم تطوير منظومة كبح تلقائية لمركبة باستخدام المسيطر المضبب (Fuzzy Controller) لمنع تصادم مركبة باي جسم أمامها سواء كان ثابت أو متحرك. السرعة النسبية بين المركبة والجسم الذي أمامها والمسافة بينهما يمثلان عناصر الدخال للمسيطر أما الإخراج فهو عزم التوقف(Brake Torque) المطبق على العجلات .المسيطر المقترح يتحسس بانزلاق الذي يحدث بين العجلات وسطح الطريق أثناء التوقف ويحاول ان يجعل قيمة الانزلاق (Slip) عند القيمة التي تعطي افضل تلاصق (adhesion) مع سطح الطريق. تم بناء المسيطر المقترح باستخدام نظرية المجاميع المضببة (Fuzzy Sets) ومن الخبرة السابقة في هذا المجال تم تكوين القواعد الأساسية (Rules Base) لهذا المسيطر .المحاكاة لهذا المسيطر أظهرت الاستجابة المطلوبة عند ظروف مختلفة وبنفس الوقت حافظ على عدم الانزلاق أثناء التوقف.

Abstract

In this search, development the automatic brake system for the vehicle by using Fuzzy controller to avoid crashing the vehicle with any body in front of it such as body is station or move. The rated speed between the vehicle and the front body ahead of it and the distance between them, they be intendance for controller but the outer is brake torque which applied on to the tires. The propose controller can be sense the slipping which occur between the tires and the road surface during the stopping and trying to make the value of slip in the amount which give the best adhesion with road surface. The propose controller built by use the theory of Fuzzy sets, and from the last experience in this field it has been found the basic rules for this controller. The friction parameters for this controller appear the request result in different circumferences and in the same time it keep on non-slipping in the stop time point.

1- المقدمة

خلال العشرين سنة الأخيرة تزايد الاهتمام بتزايد في مجال السيطرة التلقائية في المركبات بسبب ظهور متطلبات جديدة ملحة ، كظهور القوانين الصارمة التي تحكم استهلاك الوقود والسيطرة على نسب الغازات المظهرة والناتجة من الاحتراق من اجل المحافظة على البيئة. كذلك السعي إلى تحسين مستوى سيطرة السائق على المركبة بحيث يتوفر للسائق كل ما يريده من معلومات حول المركبة والطريق وبنفس الوقت تستجيب المركبة إلى ظروف ومعطيات الطريق بصورة جيدة وبذلك توفر هذه المركبات الراحة والامان للسائق والركاب وبذلك تتحول المركبة من مجرد آلة بسيطة للاستخدام الى جزء متقدم يواكب الحياة العصرية .

أدى كل هذا إلى ضرورة وجود مسيطرات عالية الدقة تسيطر على الوظائف المختلفة للمركبة وتقلل من العمليات اليدوية وتكون للسائق مساعداً جيداً في الأوقات الحرجة .لذلك نجد اليوم الكثير من الوظائف في المركبة تنفذ من خلال أنواع مختلفة من وحدات السيطرة الإلكترونية.

تكمن صعوبة تصميم المسيطرات في صعوبة وصف الحالة الديناميكية التي تمر بها المركبة اثناء حركتها لوجود تغير مستمر في الكثير من المعطيات خلال الحركة ، بالتالي من الصعوبة تحديد طريقة متقنة للتصميم .

عدة أنظمة طورت بواسطة شركات السيارات لتحسين الامان والسلامة في مركباتها منها المسيطر مانع التصادم(Anti-Collision) [1] و الأنظمة المثبتة للسرعة(Cruise Control) [2].

تحذر وتنبه هذه الأنظمة السائق في الظروف المختلفة التي تمر بها المركبة أثناء سيرها ومنها:

1- عند اقتراب من سيارة في الأمام بحيث تكون فترة الوصول إلى السيارة الأمامية اقل من خمس ثواني.

2- عند ظهور جسم فجاءة أمام المركبة .

3- إذا تباطأت او توقفت السيارة التي في الأمام فجأة.

4- إذا وجدت سيارة في المنطقة الميتة من الرؤيا بالنسبة للسائق عند الاجتياز .

بالإضافة إلى وجود الصندوق الأسود الذي يسجل معلومات حول أداء المركبة والطريق لكل عشر دقائق من حركة المركبة للمساعدة في فهم وقوع الحوادث في حالة حصولها.

كل أنظمة الكبح المستخدمة تستخدم جهاز رادار يوضع في مقدمة المركبة يقوم بإرسال إشارة ومن ثم اصطدامها بأقرب جسم أمام المركبة وبذلك يمكن تحديد المسافة بين المركبة والجسم الذي يقع أمامها الأنظمة المثبتة للسرعة (Cruise Control) توفر للمستخدم إمكانية إدخال سرعة تصميمية معينة تسير بها المركبة ويقوم المسيطر بعد ذلك بتغيير السرعة حسب المتطلبات التي تواجه حركة السيارة كظهور عقبة أمام المركبة مثلاً . تستخدم هذه المنظومة المسافة بين المركبة والجسم الذي أمامها والسرعة التصميمية والتغير في السرعة كمدخلات لمعالج ميكروي (Microprocessor) فيكون الخرج ضغط الموقف (Brake Pressure) أو عملية تعجيل للمحرك وبالتالي للسيارة وبذلك يتم تغير السرعة . في هذه المنظومة استخدمت خوارزمية رياضية لحساب قوة الكبح والانطلاق ، منظومة المسيطر الجوال(Cruise Control)

طبقت في سيارة فولفو (Volvo) واختبرت في أوربا ، نتائج الاختبار أظهرت بان المنظومة ليست نشيطة (Robust) لمتغيرات وظروف الطريق ، فالحاجة ما زالت قائمة لمزيد من العمل في هذا المجال من اجل تطوير منظومات سيطرة اكثر دقة ويمكن الاعتماد عليها .

ان علاقة متغيرات السيارة مع متغيرات الطريق تكون اصعب من وصفها بنموذج رياضي (Mathematical Model) . هناك الكثير من العوامل تؤثر في إعاقة حركة المركبات منها مقاومة التدحرج (Rolling Resistance) للعجلات،مقاومة الهواء(Drag Aerodynamic) مقاومة الاحتكاك في أجهزة نقل الحركة (Resistance Transmission)، مقاومة الصعود (Gradient Resistance) بالإضافة إلى قوة الكبح ، لذلك يجب ان تأخذ هذه العوامل جميعاً بنظر الاعتبار في تصميم أي منظومة كبح تلقائية . هذه العوامل تؤثر من الناحية الرياضية بشكل لا خطي مما يزيد من صعوبة تصميم منظومات الكبح التلقائية بالإضافة الى ان هذه العوامل غير ثابتة المقدار بل تتغير حسب ظروف الطريق والحالة التشغيلية للمركبة لذلك فان تصميم المسيطرات التقليدية يكون مهمة صعبة.

الهدف من هذا البحث هو تصميم منظومة كبح تلقائية باستخدام المسيطر المضبب (Fuzzy Controller) [3و4و5و6] لقدرته على التعامل مع المنظومات ألاخطية بشكل افضل .

2- الأنموذج الديناميكي للمركبة Vehicle Dynamic Model

الأنموذج الديناميكي المستخدم في هذا البحث هو نموذج لا خطي بوجود الفرضيات التالية[8,7]:

1- حالة الطريق هي نفسها لكل العجلات .
2- قوى الكبح المسلطة تتوزع بصورة متساوية على كل العجلات.
3- حركة المركبة بشكل طولي فقط (Longitudinal Motion) المعادلة الديناميكية لنموذج المركبة الموضح في الشكل(1) هي :

$$-4F_b - F_a - F_x \pm mg\sin q = m\frac{d\dot{v}}{dt} \quad \ldots(1)$$

v سرعة المركبة ، m كتلة المركبة ، q زاوية ميلان الطريق ، g التعجيل الأرضي

F_x مقاومة التدحرج وتعطى بالمعادلة التالية :

$$F_x = f_x N \quad \ldots(2)$$

حيث N القوة العمودية على العجلة .

f_r معامل مقاومة التدحرج(Coefficient of rolling resistance) ويمكن حسابه كالتالي :

$$f_x = f_o + f_s\left(\frac{3.6v}{100}\right)^{2.5} \quad \ldots(3)$$

f_s, f_o معاملات [7]

F_a مقاومة الريح ويمكن أن تحسب من المعادلة

$$F_a = Kv^2 \quad \ldots(4)$$

حيث k ثابت مقاومة الهواء [8]

المعادلة الرياضية لدوران العجلة الموضحة في الشكل (2) تعطي بالشكل التالي :

$$T_b - F_b R = I\frac{d\dot{w}}{dt} \quad \ldots(5)$$

w السرعة الزاوية للعجلة ، I عزم القصور الذاتي للعجلة ، R نصف قطر العجلة

T_bعزم التوقف ، F_b قوة الكبح وتحسب من المعادلة التالية :

$$F_b = mN \qquad \ldots(6)$$

حيث N القوة العمودية على العجلة .

m معامل الالتصاق (adhesion coefficient) العجلة بالأرض.

يعتمد معامل الالتصاق m على معامل الانزلاق وكما موضح بالشكل (3) لذلك فان :

$$m = f(l) \qquad \ldots(7)$$

يعرف معامل الانزلاق l عند التوقف بالشكل التالي :

$$l = 1 - \frac{Rw}{v} \qquad \ldots(8)$$

حيث R نصف قطر العجلة ، v السرعة الخطية للمركبة ، w السرعة الزاوية للعجلة .

3- معامل الانزلاق ومعامل الالتصاق

أن علاقة معامل الانزلاق l slip ومعامل الالتصاق m (adhesion coefficient) لعجلة مطاطية موضح بالشكل (3) حيث نلاحظ أن أقصى التصاق يحدث عندما يكون الانزلاق20% للطريق الجاف [8] .

لذلك فان هدف المسيطر المقترح هو المحافظة على قيمة الانزلاق بحدود 20% لأحداث اكبر قوة كبح بدون حدوث انزلاق إضافي للعجلات وبذلك تحافظ المركبة على استقراريتها خلال مسافة التوقف بالإضافة إلى تقليل مسافة التوقف .لذلك فان منظومة الكبح المقترحة تحتاج الى قياسات حقيقية لمعرفة الحالة بين العجلات والطريق وقياس سرعة دوران كل عجلة والسرعة الخطية لمركز العجلة لحساب قيمة الانزلاق.

4- تصميم المسيطر Controller Design

المسيطر المقترح هو من نوع المسيطر المضبب (Fuzzy Controller) حيث تكون السرعة الأمامية للمركبة v والمسافة النسبية بين المركبة والجسم في الامام d ومقدار خطأ الانزلاق عن القيمة التصميمية l إدخالات للمسيطر بينما يكون الإخراج للمسيطر هو عزم التوقف T_b. ويتم حساب القوة العمودية (N) من المعادلة (5 , 6) وكذلك حساب مقاومة التدحرج من المعادلة (2).

تم تقسيم مدخلات ومخرجات المسيطر المضبب الى قيمة منطقية (Linguistic Values) على اساس الخبرة والمعرفة في هذا المجال ، فقد تم تقسيم المسافة إلى خمسة مجاميع هي :

قريبة جداً VC قريبة C متوسطة M بعيدة F بعيد جداً VF.

وأخذت كل مجموعة من مجاميع المسافة دالة عضوية (membership function) وكما مبين في الشكل(4) وقسمت قيم السرعة الى خمس مجموعات هي : بطيئة جداً VS بطيئة S متوسطة M سريعة F سريعة جداً VF .

وأخذت كل مجموعة من مجاميع السرعة دالة عضوية كما مبين في الشكل (5)

وقسم خطأ الانزلاق الى ثلاثة مجاميع هي : موجب P صفر Z وسالب N وأخذت كل مجموعة من مجاميع خطأ الانزلاق دالة عضوية كما مبين في الشكل(6) بينما قسمت قيم عزم التوقف الى خمس مجاميع هي : بدون عزم Nb عزم قليل Lb عزم متوسط Mb عزم كبيرHb عزم جدا كبير VHb

وأخذت كل مجموعة من مجاميع عزم التوقف دالة عضوية كما مبين في الشكل (7)

ان قيمة عزم التوقف حسب على أساس مواصفات المركبة المدرجة في الملحق(1).

أن التعريف اعلاه للقيم المنطقية ينتج عنه 75 قاعدة أساسية (rules base) للمنطق المضبب من نوع (if-then) والتي تحكم العلاقة بين المجموعات للمدخلات والمخرجات ، يوضح الجدول (1) عشرة من هذه القواعد لفك غموض الإخراج المسيطر المضبب للحصول على قيمة عددية واضحة للإخراج (عزم التوقف) استخدمت طريقة مركز المساحة (Center of Area Method).

جدول (1)

If d is VC and v is VS and λe is N then Tb is Mb
If d is VC and v is VS and λe is Ze then Tb is Mb
If d is VC and v is VS and λe is P then Tb is Lb
If d is VC and v is M and λe is N then Tb is Hb
If d is VC and v is H and λe is N then Tb is Hb
If d is VC and v is VH and λe is N then Tb is Hb
If d is VC and v is VH and λe is Ze then Tb is Hb
If d is VC and v is VH and λe is P then Tb is Mb
If d is F and v is VH and λe is N then Tb is Hb
If d is VF and v is H and λe is Ze then Tb is Lb

مثال (1) للمحاكاة . سرعة المركبة (30 m/sec) ، سرعة الجسم في الامام (15 m/sec) المسافة بينهما (50 m) .

5- المحاكاة : Simulation

أداء المسيطر المقترح فحص من خلال الاستجابة الديناميكية للنموذج الرياضي اللاخطي للمركبة الموصوف في هذا البحث وباستخدام القيم العددية لثوابت المركبة المبينة في الملحق (1) .

تم تحديد قيمة الانزلاق بحدود 20% على أساس ان المركبة تسير على طريق جافة حيث يكون معامل الالتصاق اكبر ما يمكن عند انزلاق 20% وكما مبين في الشكل(3) .

يبين الشكل(8) الاستجابة الديناميكية للمسافة والسرعة ومعامل الانزلاق حيث نلاحظ انخفاض السرعة الى

الصفر مع وجود مسافة بين المركبة عند لحظة التوقف والجسم المتحرك اكثر من 10 m بينما يكون معامل الانزلاق قريب عن 20% خلال فترة التوقف بالرغم من ارتفاع قيمة الانزلاق الى 35% في بداية التوقف وهذه القيمة تعتبر قليلة إذا ما قورنت بالانزلاق التام للمركبة.

مثال (2) للمحاكاة . سرعة المركبة (25m/sec) ، سرعة الجسم في الأمام (0m/sec) المسافة بينهما (50 m) .

يبين الشكل (9) الاستجابة الديناميكية للمسافة والسرعة ومعامل الانزلاق عند توقف السيارة من سرعة 25m الى ان توقفت على بعد مسافة حوالي 32m من الجسم الثابت كما حافظ المسيطر على قيم الانزلاق قريبة من قيمة الانزلاق المثالية وخاصة عند بداية التوقف.

6-الاستنتاجات

نفذت منظومة الكبح التلقائية لمركبة باستخدام المسيطر المضبب لما لهذا المسيطر من قدرة على التعامل بشكل افضل من المسيطرات الكلاسيكية مع النماذج اللاخطية وخاصة التي تحتوي على عوامل غير ثابتة كنموذج المركبة المقترح في هذا البحث والذي يحتوي على معاملات قد تتغير حسب حالة المركبة او ظروف الطريق كوزن المركبة وحالة الإطارات ونوعية سطح الطريق (جاف او مبتل) .

نتائج المحاكاة لهذا المسيطر أظهرت استجابة مقبولة لكل من سرعة المركبة ومسافة التوقف ومعامل الانزلاق حيث تم إيقاف المركبة على مسافة من الجسم أمامها سواء كان متحرك او ثابت حتى عند سرعة كبيرة للمركبة وجسم ثابت أمامها وهي اصعب حالة قد تواجه المركبة كذلك أن المسيطر حافظ على قيمة قريبة من قيمة الانزلاق التصميمية لحالة الطريق المفترضة لهذا البحث وهي 20% لاعطاء افضل تماسك للمركبة مع سطح الطريق ولمنع انزلاق .

7- ملحق (1)

القيم العددية لثوابت المركبة :

كتلة السيارة m=1000 kg

عزم القصور الذاتي للعجلات I=1.7kgm^2

معاملات المقاومة التدحرج f_o=0.011 , f_s=0.0075

ثابت مقاومة الهواء k=0.48 Nsec^2/m^2

نصف قطر العجلة R=0.33m

8- ملحق (2)

v سرعة المركبة

m كتلة المركبة

q زاوية ميلان الطريق

g التعجيل الأرضي

F_x مقاومة التدحرج

N القوة العمودية على العجلة

f_x معامل مقاومة التدحرج

f_o f_s معاملات

F_a مقاومة الريح

k ثابت مقاومة الريح

w السرعة الزاوية للعجلة

I عزم القصور الذاتي للعجلة

R نصف قطر العجلة

T_b عزم التوقف

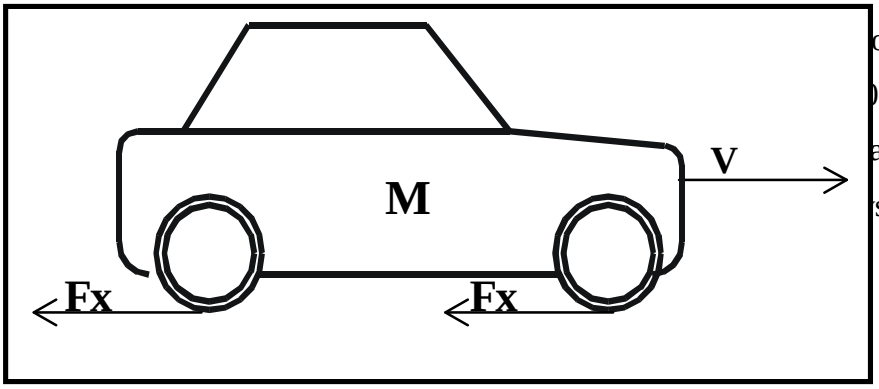
F_b قوة الكبح

m معامل الالتصاق العجلة بالأرض

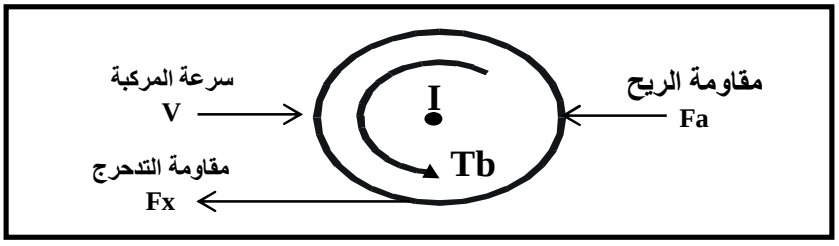
l معامل الانزلاق عند التوقف

9-المصادر

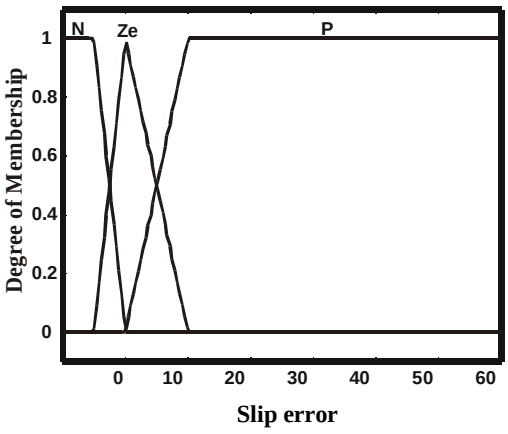
1- Marjorie Sorge "You are Too Close Warns System", Words World, Vol. 29, pp. 58-59, April 1993.
2- UIF Palmquist, "Intelligent Cruise Control & Road Side Information" IEEE Micro, Vol. 13, pp. 20-28, Feb. 1993.
3- Laync, J.K. Passion & S. Yurkovich. 1993. Fuzzy Learning Control for Anti-Skid Braking System, IEEE Trans on Control Systems Technology, Vol. 1, No. 2.
4- Tong, R.M. 1977. A Control Engineering Review of Fuzzy Systems Automatic, Vol. 13, pp. 559-569.
5- Lee C.C. Fuzzy Logic in Control System; Fuzzy Logic Controller, Part I & II. IEEE Trans on Syst., ol. SMC-20,).
aptive Fuzzy stem.
7- Proceedings of the 31st Conf, on Decision & Control. 1992.
8- Wong, J.Y, "Theory of Ground Vehicles", John Wiley & Sons, Inc., 1993.
9- Harned, J.L.et al. " Measurement of Tire Brake Force Characteristics as Related to Wheel Slip Control System Design" SAE Trans., Vol. 78, 1969.



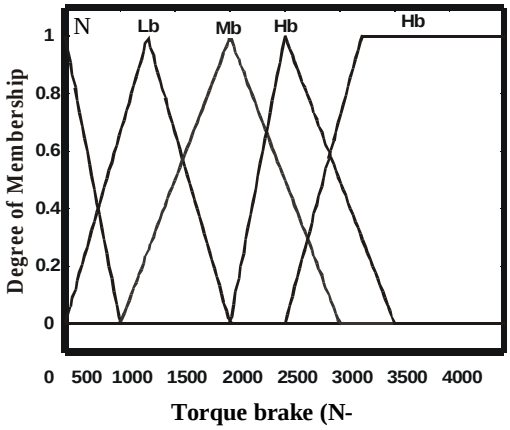
شكل (1) النموذج الديناميكي للمركبة



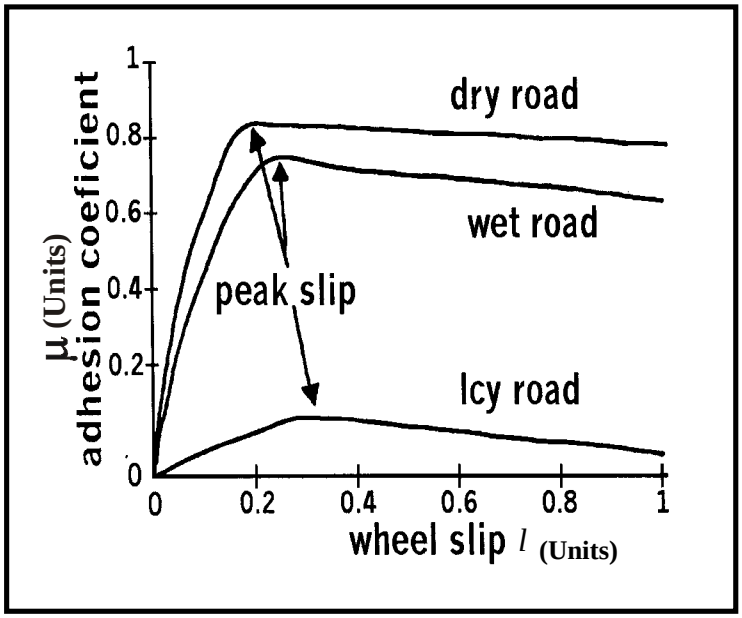
شكل (2) النموذج الديناميكي للعجلة



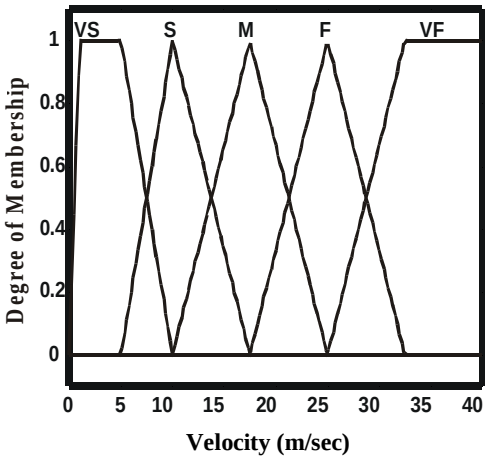
شكل (6) الدوال العضوية لخطأ الانزلاق



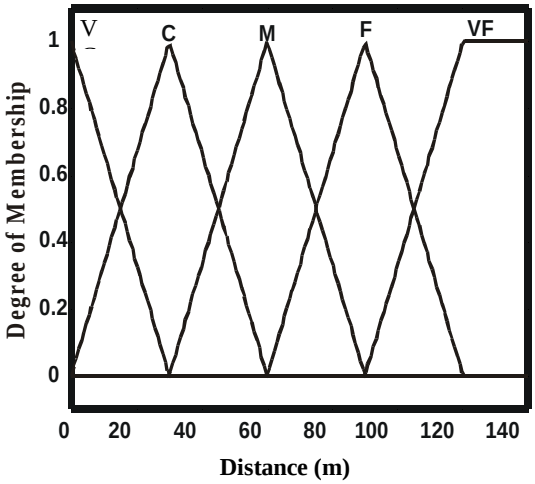
شكل (7) الدوال العضوية لعزم التوقف



شكل (3) العلاقة بين معامل الانزلاق و معامل الالتصاق

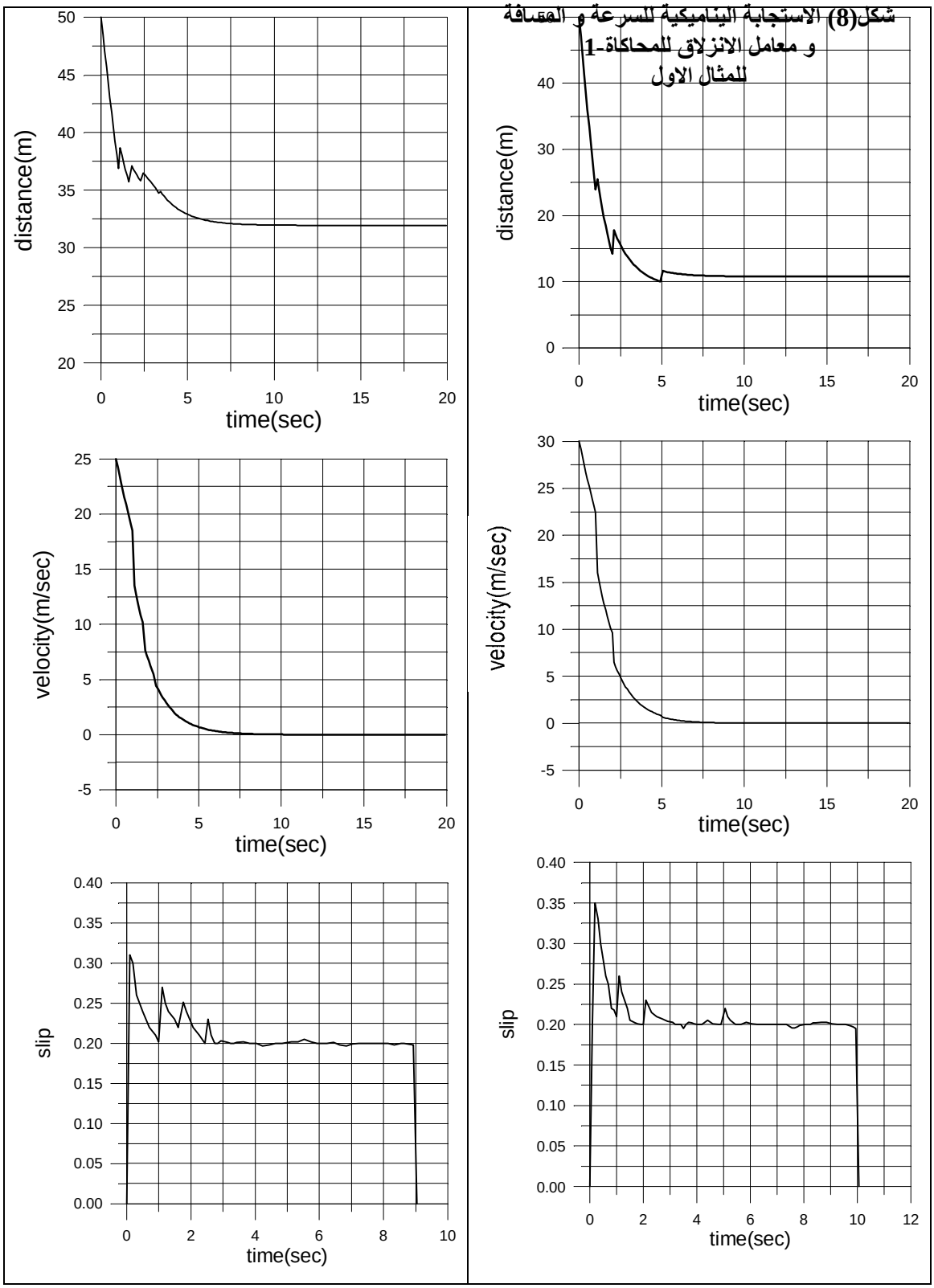


شكل (4) الدوال العضوية للسرعة



شكل (5) الدوال العضوية للمسافة

(Fuzzy Controller)



شكل(8) الاستجابة الينامكية للسرعة و المسافة و معامل الانزلاق للمحاكاة-1 للمثال الاول

شكل(9) الاستجابة الينامكية للسرعة و المسافة و معامل الانزلاق للمحاكاة-2 للمثال الثاني