مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (1) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (1) 2019

Design of Fuzzy Collision Avoidance System Using Target Hazard Indicator

Dr. Oulfat Jolaha*
Dr. Jabr Hanna**
Qousay Benshi***

(Received 18 / 11 / 2018. Accepted 24 / 1 / 2019)

□ ABSTRACT □

The collision prevention system is the primary responsible for the safety of the vessel, where it is responsible for maneuvering in case of a target or obstacle on the ship's route. Pre-knowledge of the collision location greatly helps to avoid collision and thus increases the safety of navigation, so the hazard index is used to indicate the probability of collision**.** The collision prevention system is the primary responsible for the safety of the ship, where it is responsible for maneuvering in the event of a target or obstacle on the ship's route.
In this research, a fuzzy collision avoidance system is designed using a hazard indicator. The system has been simulated in the MATLAb environment. The introduction of the hazard indicator on the collision prevention system has improved the performance of the proposed fuzzy collision prevention system**.**

Key Words: Fuzzy Logic, Fuzzy Inference System, collision avoidance system, marine.

* **Associate professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Postgraduate Student, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (1) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (1) 2019

تصميم نظام منع تصادم ضبابي باستخدام مؤشر خطورة الهدف

د. ألفت جولحة*

د. جبر حنا**

قصي بنشي***

(تاريخ الإيداع 18 / 11 / 2018. قُبِل للنشر في 24/ 1 / 2019)

□ ملخّص □

يعدّ نظام منع التصادم المسؤول الأول عن أمان السفينة، حيث تقع عليه مسؤولية قرار المناورة في حال وجود هدف أو عائق على خط سير السفينة. إن المعرفة المسبقة لموقع التصادم يساعد كثيراً في تجنب التصادم وبالتالي يزيد من أمان الإبحار، لذلك يستخدم مؤشر الخطورة للدلالة على احتمالية حدوث الاصطدام.

يتم في هذا البحث تصميم نظام منع تصادم ضبابي باستخدام مؤشر الخطورة. وقد تم تجربة النظام بالمحاكاة في بيئة **MATLAb**. إن إدخال مؤشر الخطورة على نظام منع التصادم حسّن من أداء نظام منع التصادم الضبابي المقترح بشكلٍ واضحٍ.

الكلمات المفتاحية: منطق ضبابي، نظام الاستدلال الضبابي، نظام منع التصادم، بحري.

* مدرس ، قسم هندسة الحاسبات والتحكم، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

**أستاذ ، قسم هندسة الحاسبات والتحكم، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

***طالب دراسات عليا (دكتوراه)، قسم هندسة الحاسبات والتحكم، كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية، جامعة تشرين ، اللاذقية، سورية

مقدمة

تنفذ مناورة تفادي التصادم في حال حدوث خطر التصادم بين السفينة والهدف. لهذا فإن عملية تحديد خطورة الهدف عملية مهمة لاتخاذ قرار تنفيذ المناورة لتفادي التصادم. توجد العديد من الطرق لحساب خطورة الهدف، وقد اعتمدت بمجملها على نطاق السفينة التي تم وضعها من قبل Fuji [1]، والتي طورت من قبل GOODWIN بأشكال مختلفة [2]. لذلك يعدّ حساب مؤشر الخطورة عملية مهمة لنظم الملاحة البحرية، فقد تم تقدير مؤشر الخطورة بالاعتماد على نطاق ومحيط السفينة [3]، كذلك استخدمت نظرية التدفق المروري traffic flow theory التي تعتمد على احتمالية ومعدل التصادم لتقييم مؤشر الخطورة [4]. اعتمدت الكثير من الدراسات على تقنيات الذكاء الصنعي والنظم الخبيرة في حساب مؤشر الخطورة من خلال الجمع بين البارامترين: المسافة لأقرب مسافة بين السفينتين dcpa (distance to closest point of appraoch) والزمن حتى أقرب مسافة بين السفينتين tcpa (time to closest point of approach) [5]. وقد عُرضت طريقة لحساب مؤشر الخطورة بناءً على الدمج بين المنطق الضبابي وطريقة التقييم الشامل الضبابية، مع آلية لحساب البارامترين السابقين بشكل آني بحيث تم استخدامهما للحصول على مؤشر الخطورة [6]. إلا أن تلك الدراسات قامت بحساب مؤشر الخطورة كشكل من أشكال الإنذار المبكر عن التصادم، ولكنها لم تستخدمه في نظم تفادي التصادم. لذا يتم في هذا البحث تطوير خوارزمية مقترحة لحساب مؤشر الخطورة باستخدام المنطق الضبابي واستخدام هذا المؤشر في تصميم نظام تفادي تصادم ضبابي بغية الحصول على قرارات بتغيير خط سير السفينة، والسرعة في الوقت المناسب، لتقليل خطر الاصطدام.

أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية نظام منع التصادم في نظم السفن المستقلة في كونه مسؤول عن أمان السفينة وسلامتها أثناء الإبحار. يهدف هذا البحث إلى تصميم نظامين أحدهما نظام تحديد مؤشر خطورة الهدف والنظام الثاني نظام منع التصادم اعتماداً على مؤشر خطورة الهدف باستخدام المنطق الضبابي وبالاستعانة بالخبرة البشرية. تمت نمذجة ومحاكاة النظم المقترحة باستخدام برنامج MATLAB\SIMULINK.

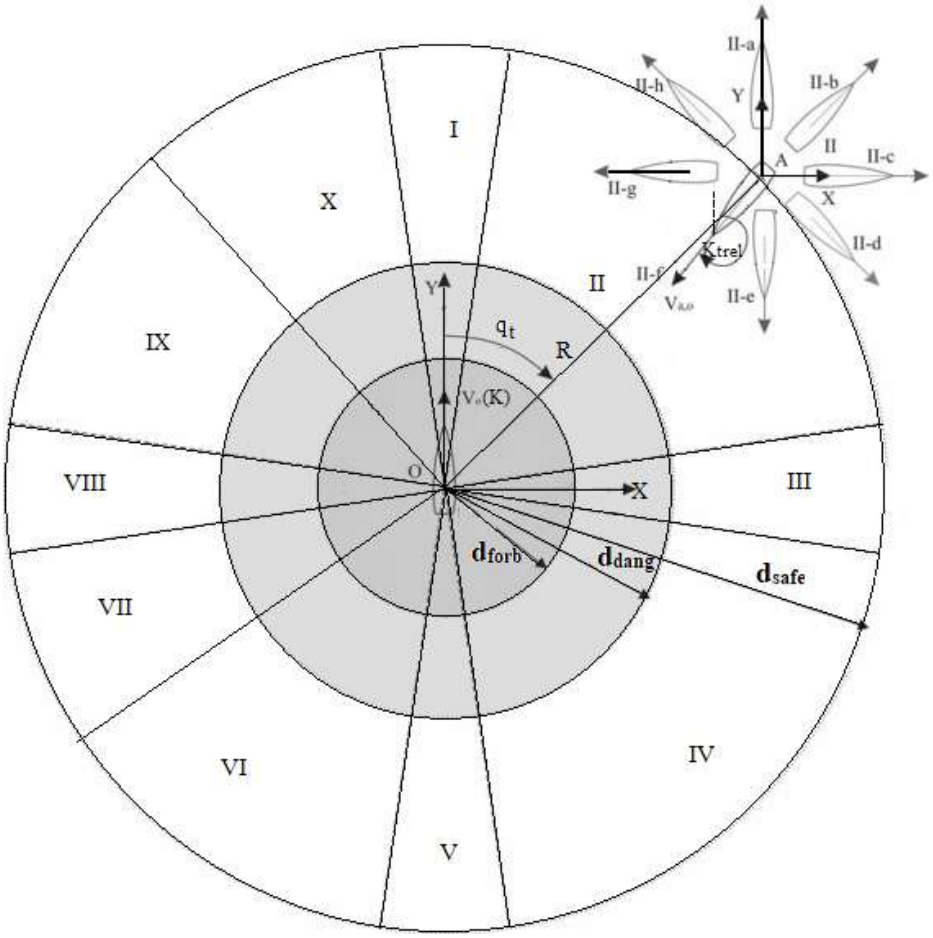
طرائق البحث ومواده

يتم في هذا البحث دراسة حالات التصادم بين سفينتين مع تحديد المناطق الخطرة والآمنة حول السفينة وإيجاد أقرب نقطة بين السفينة والهدف، بحيث يمكن توقع مكان التصادم وزمانه من أجل اتخاذ الإجراءات اللازمة لمنع حدوث التصادم. ثم وضع نظام تحديد خطر التصادم الضبابي المقترح ومن ثم تصميم نظام لمنع التصادم باستخدام مؤشر الخطورة.

1 دراسة حالة التصادم بين سفينتين

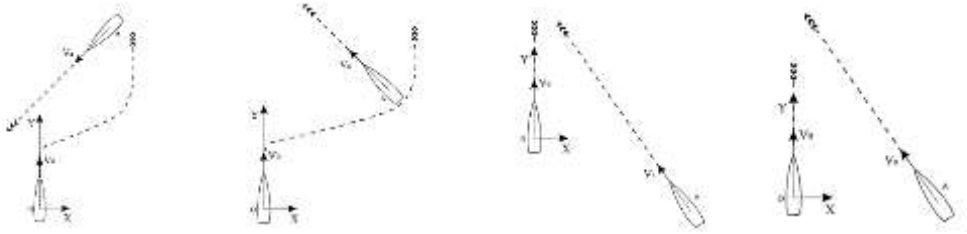
يظهر في الشكل (1) حالة تصادم بين سفينتين كما تظهر على الرادار الموجود على السفينة (المقصود بالسفينة هو السفينة التي تخصنا). تتوضع هذه السفينة في النقطة O التي هي مركز لثلاثة دوائر تحدد المناطق الخطرة والآمنة حول السفينة وهي: المنطقة الممنوعة forb التي يجب ألا يتواجد فيها أي هدف على الإطلاق ونصف قطرها d_{forb}؛ والمنطقة الخطرة dang التي يفضل ألا يتواجد فيها أي هدف لأنه قد يشكل خطراً على السفينة ويجب على السفينة

محاولة تجنب وصول أي هدف لهذه المنطقة إذا كانت المناورة عليها، وإلا فإن عليها أن تناور عند وصول الهدف الذي تقع المناورة عليه ولم يناور إلى هذه المنطقة ونصف قطرها d_{dang}، أي أنه لا تنتظر السفينة تطبيق اللوائح الدولية لمنع التصادم في البحار بل يتم الاعتماد على الخبرة البشرية في تنفيذ عملية المناورة؛ والمنطقة الثالثة هي المنطقة الآمنة safe التي يتم فيها تطبيق اللوائح الدولية لمنع التصادم في البحار ونصف قطرها d_{safe}. تسير السفينة بسرعة v_o وخط سير k، بينما يتوضع الهدف في النقطة A التي تبعد مسافة R عن مركز لسفينة وباتجاه نسبي q_t من مقدمة السفينة، وسرعة الهدف v_t، وخط سيره النسبي بالنسبة للسفينة k_{trel} [7].



الشكل (1) حالة التصادم بين السفينتين والمناطق الخطرة والآمنة[7].

تقسم حالات التصادم لفئات رئيسية هي [8]: تقاطع Crossing كما في الشكلين (2) و(3). إما يمكن أن تقع مسؤولية المناورة على السفينة، حيث قد تكون المناورة بالسرعة فقط كما في الشكلين (2–أ و2–ب) أو تكون بالاتجاه فقط كما في الشكلين (2–جـ و2–د)؛ أو قد تقع مسؤولية المناورة على الهدف كما في الشكل (3). أما في حالتي التقابل Head on والتخطي Overtake تكون المناورة على السفينتين كما في الشكل (4) والشكل (5)، على الترتيب.



أ ب ج د

الشكل (2) حالات التقاطع ين السفن وتكون المناورة على السفينة[7].

أ–ب المناورة بالسرعة فقط. ج – د المناورة بالاتجاه.

الشكل (3) حالة التقاطع بين السفن والمناورة على الهدف[7].

الشكل (4) حالة التقابل المناورة على السفينتين[7].

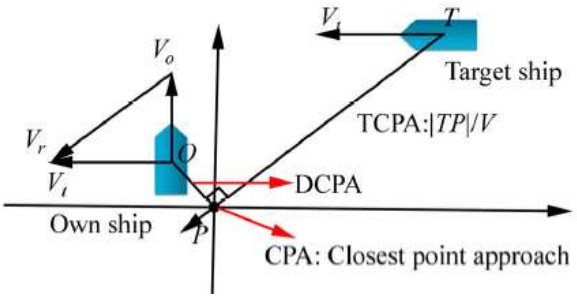
الشكل (5) حالة التخطي المناورة على السفينتين[7].

2 أقرب نقطة بين السفينة والهدف cpa closest point of approach

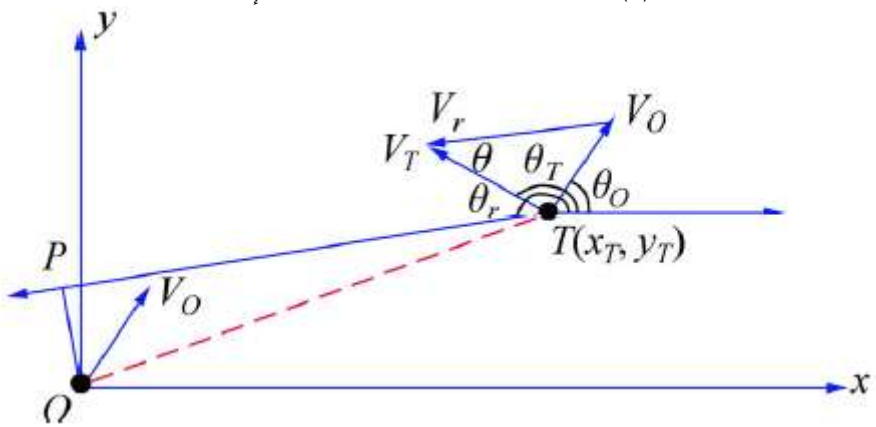
يحدث التصادم بين جسمين متحركين عندما يتقاطع مسارهما في نقطة معينة بنفس اللحظة. بالنسبة للسفن يعتبر خطر التصادم محقق عندما تدخل إحدى السفن في المنطقة الممنوعة للسفينة الثانية، ولذلك تعتبر مسألة تحديد إحداثيات منطقة التصادم والتي يعبر عنها بأقرب نقطة بين السفينة والهدف cpa (closest point of approch) مسألة مهمة في علم الملاحة البحرية تهدف لتوقع مكان التصادم وزمانه بغية القيام بإجراءات مناسبة بغية منع التصادم. وليس من الضروري أن تكون المسافة بين السفينتين في منطقة أقرب نقطة بين السفينتين مسافة خطرة؛ فقد تكون أقرب مسافة بين السفينتين في تلك المنطقة أكبر من نصف قطر المنطقة الممنوعة، في هذه الحالة لا تشكل أي من السفينتين خطراً على الأخرى. يتحدد موقع منطقة أقرب مسافة بين السفينة والهدف بالمدى إلى هذه النقطة dcpa وكذلك بالزمن اللازم للوصول إليها tcpa، هذا الزمن مرتبط بالسرعة النسبية بين الهدفين. يظهر الشكل(6) منطقة أقرب مسافة بين السفينتين وإحداثياتها. من البارمترات المهمة التي يحب أخذها بعين الاعتبار المسافة بين السفينتين في هذه المنطقة وكذلك الاتجاه النسبي إليها. ويظهر الشكل(7) سيناريو حساب مسافة وزمن أقرب مسافة بين السفينتين الذي تم من خلاله التوصل للمعادلتين الآتيتين [5]:

$$\boldsymbol{dcpa = |op| = \frac{|y_t - x_t tan\theta_r|}{\sqrt{tan^2\theta_r + 1}}} \quad (1)$$

$$\boldsymbol{tcpa = \frac{|TP|}{v_r} = \frac{\sqrt{(x_T^2 + y_T^2) - dcpa^2}}{v_r}} \quad (2)$$



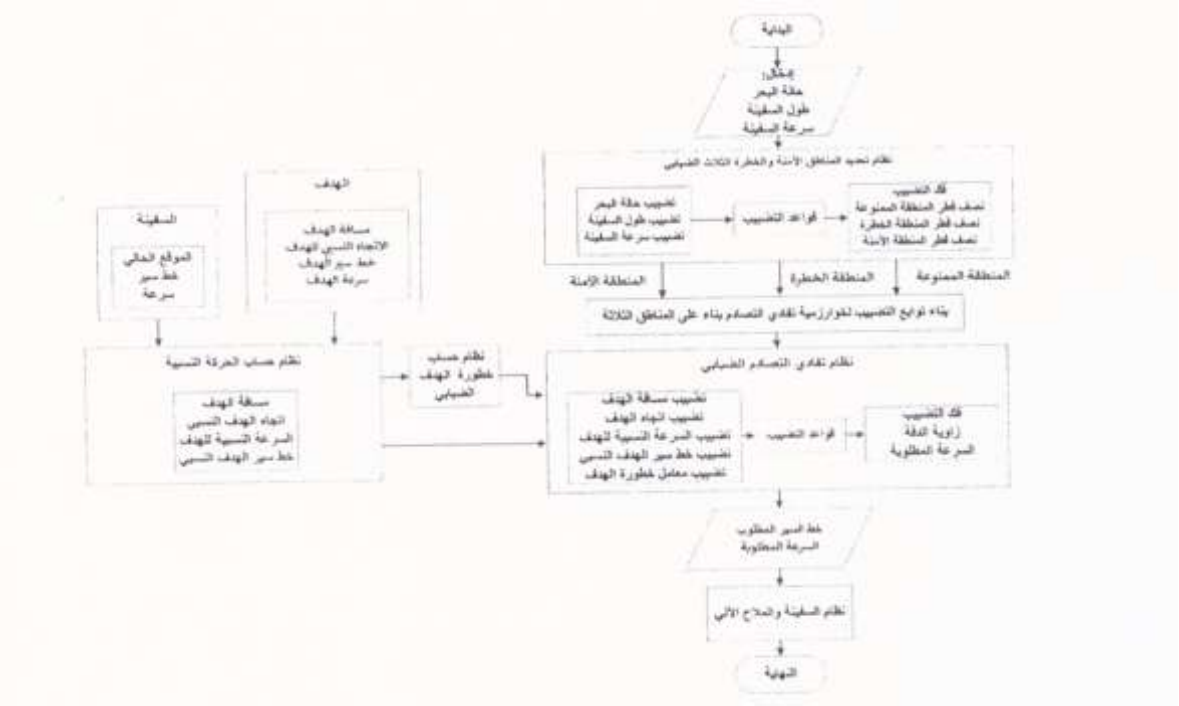
الشكل (6) منطقة أقرب مسافة بين السفينتين cpa وإحداثياتها.



الشكل (7) سيناريو لحساب مسافة وزمن أقرب مسافة بين السفينتين.

3- خوارزمية منع التصادم باستخدام مؤشر الخطورة المقترحة:

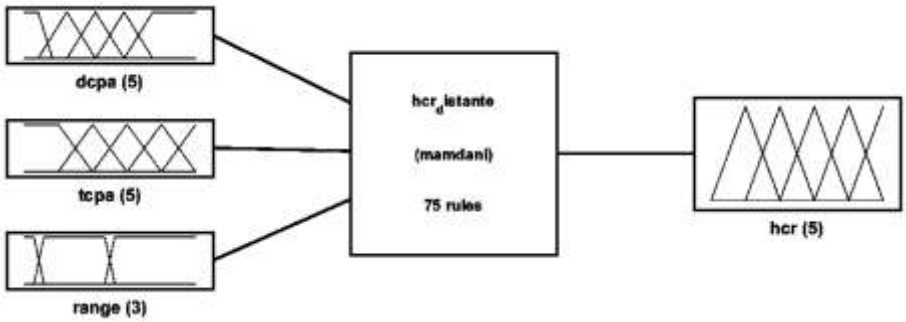
يبين الشكل (8) خوارزمية منع التصادم المقترحة تدخل بارامترات الهدف (هي مسافة الهدف r_t، والاتجاه النسبي للهدف q_t ، وخط سير الهدف k_t ، وسرعة الهدف v_t) وبارامترات السفينة (هي الموقع الحالي x,y، وخط السير k_o، والسرعة v_o) إلى نظام حساب الحركة النسبية الذي يقوم بحساب بارامترات الحركة النسبية (وهي مسافة الهدف r_t، واتجاه الهدف النسبي q_t، والسرعة النسبية للهدف v_t/v_o، وخط سير الهدف النسبي k_{trel}، والمسافة لأقرب نقطة بين السفينة والهدف d_{cpa}، والزمن اللازم للوصول إلى لأقرب نقطة بين السفينة والهدف t_{cpa}، والمسافة بين السفينة والهدف في أقرب مسافة بينهما r_{cpa}). يتم إدخال كل من d_{cpa} وt_{cpa} و r_{tcpa} إلى نظام حساب خطورة الهدف الذي يقوم بحساب مؤشر خطورة الهدف hcr، هذا المؤشر يدخل بدوره مع باقي بارامترات خرج نظام حساب بارامترات الحركة النسبية إلى نظام تفادي التصادم القابل للضبط حيث يتم ضبط بارامتر مسافة الهدف r_t فيه من خلال نظام تحديد المناطق الآمنة والخطرة الثلاث الضبابي الذي دخله هو: حالة البحر وطول السفينة وسرعة السفينة. إن خرج نظام منع التصادم هو خط السير اللازم لتفادي التصادم add_course والسرعة المطلوبة لتفادي التصادم add_speed، يدخل هذا الخرج إلى نظام السفينة والملاح الآلي الذي يقوم بتنفيذه لتفادي التصادم.



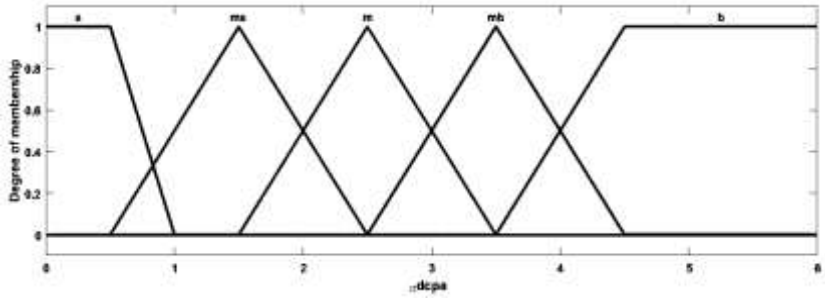
الشكل(8) خوارزمية نظام منع التصادم باستخدام مؤشر الخطورة المقترح.

4 نظام تحديد خطر التصادم الضبابي المقترح

يظهر في الشكل (9) نظام تحديد خطر التصادم الضبابي المقترح الذي يتكون من ثلاث مداخل، المدخل الأول المسافة لأقرب نقطة بين السفينة والهدف d_{cpa} وقد تم تضبيبه من خلال خمس مجموعات ضبابية (الشكل (10))، وهي s(small) ذات شكل شبه منحرف مجالها mile[0-1]، ms(middle small) ذات شكل مثلثي مجالها mile[0.5-2.5]، m(middle) ذات شكل مثلثي مجالها mile [1.5-3.5]، mb(middle big) ذات شكل مثلثي مجالها mile[2.5-4.5]، b(big) ذات شكل شبه منحرف مجالها mile[3.5-6].

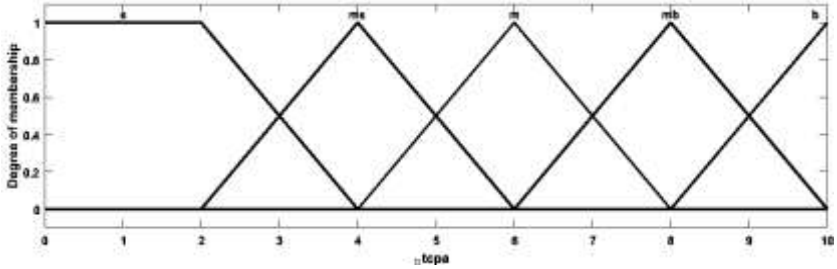


الشكل(9) نظام تحديد خطر التصادم الضبابي المقترح.



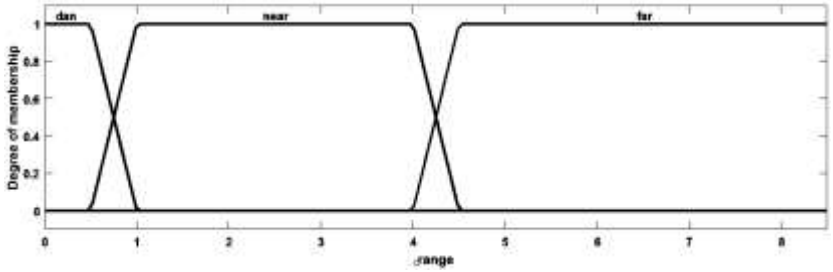
الشكل(10) مجموعات تضبيب المسافة لأقرب نقطة بين السفينة والهدف dcpa .

والمدخل الثاني هو الزمن اللازم للوصول إلى لأقرب نقطة بين السفينة والهدف t_{cpa}، وقد تم تضبيبه من خلال خمس مجموعات ضبابية ذات شكل مثلثي مبينة في الشكل (11) وهي s(small) ذات شكل شبه منحرف مجالها s[0-4]، ms(middle small)مجالها s[2-6]، m(middle) مجالها [4-8]، mb(middle big) مجالها [6-10]، b(big) مجالها [8-10].



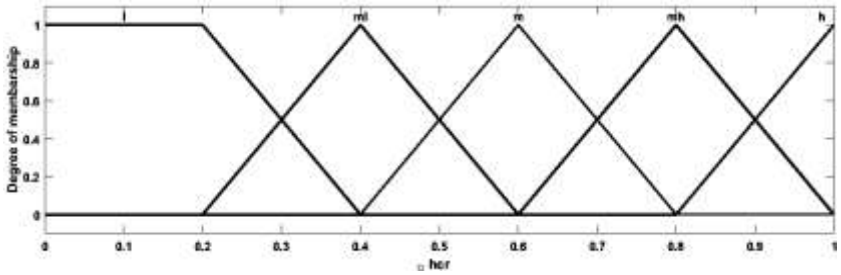
الشكل (11) مجموعات تضبيب الزمن اللازم للوصول إلى لأقرب نقطة بين السفينة والهدف tcpa .

أما المدخل الثالث فهو المسافة بين السفينة والهدف في أقرب مسافة بينهما r_{cpa}، وقد تم تضبيبه من خلال ثلاث مجموعات ضبابية ذات شكل شبه منحرف (الشكل (12)) وهي(danger)dan مجالهاmile[0-1]، near مجالها mile[0.5-4.5]، far مجالها [4-8].



الشكل (12) مجموعات التضبيب للمسافة بين السفينة والهدف في أقرب مسافة بينها.

أما الخرج وهو مؤشر الخطورة hcr الشكل (13) وقد تم تضبيبه من خلال خمس مجموعات ضبابية ذات شكل مثلثي وهي l(low) ذات شكل شبه منحرف مجالها [0-0.4]،ml(middle low) مجالها [0.2-0.6]، m(middle) مجالها [0.4-0.8]، mh(middle high) مجالها [0.6-1.0]، h(high) مجالها [0.8-1.0]. تتكون قاعدة القوانين لهذا النظام من 75 قاعدة تم عرض بعضاً منها في الجدول (1).



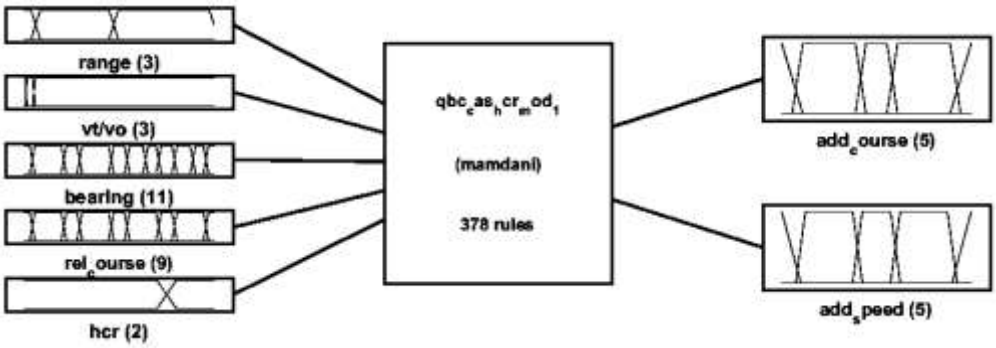
الشكل(13) مجموعات تضبيب مؤشر خطورة الهدف hcr .

الجدول (1) بعض قواعد قاعدة القوانين لنظام مؤشر الخطورة المقترح.

1. If (dcpa is s) and (tcpa is s) and (range is near) then (hcr is h) (1)
2. If (dcpa is s) and (tcpa is ms) and (range is near) then (hcr is h) (1)
3. If (dcpa is s) and (tcpa is m) and (range is near) then (hcr is mh) (1)
⋮
73. If (dcpa is b) and (tcpa is m) and (range is far) then (hcr is l) (1)
74. If (dcpa is b) and (tcpa is mb) and (range is far) then (hcr is l) (1)
75. If (dcpa is b) and (tcpa is b) and (range is far) then (hcr is l) (1)

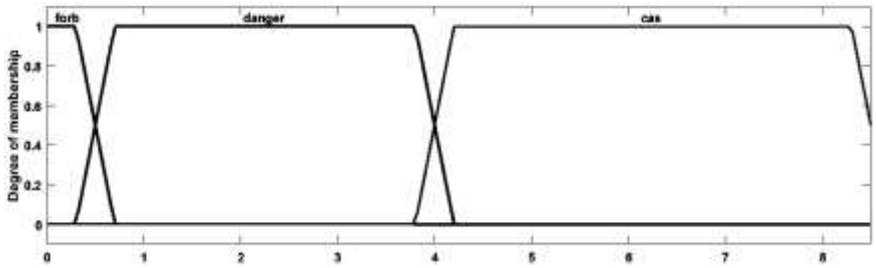
5 نظام تفادي التصادم الضبابي مع مؤشر خطورة الهدف المقترح

يبين الشكل (14) نظام تفادي التصادم الضبابي مع مؤشر خطورة الهدف المقترح يتكون هذا النظام من خمسة مداخل هي:



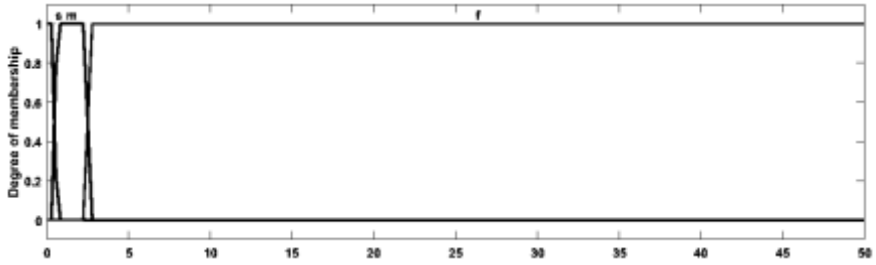
الشكل(14) نظام تفادي التصادم الضبابي مع مؤشر الخطورة المقترح.

1- المدخل الأول هو مسافة الهدف **range** (الشكل **(15)**) وتم تضبيبه بثلاث مجموعات ضبابية هي **cas** التي تمثل المنطقة الآمنة، و**danger** المنطقة الخطرة، و**forb** المنطقة الممنوعة. إن شكل كل من هذه المجموعات هو شبه منحرف، أما مجالاتها فيتم تحديدها بمخارج نظام حساب المناطق الثلاث الضبابي.



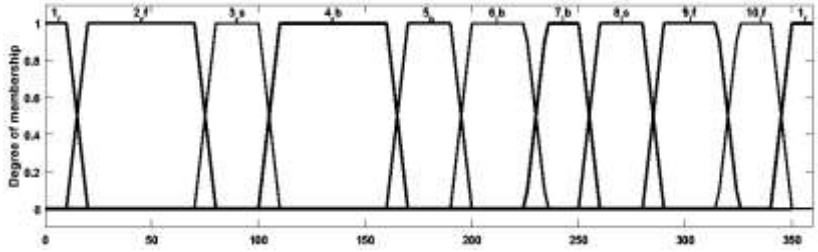
الشكل (15) مجموعات تضبيب مسافة الهدف القابلة للضبط.

2- المدخل الثاني هو السرعة النسبية للهدف $\mathbf{v_t/v_o}$ (الشكل **(16)**)، وقد تم تضبيها بثلاث مجموعات ذات شكل شبه منحرف هي: **s** عندما تكون سرعة الهدف أقل من سرعة السفينة، و**m** عندما تكون سرعة الهدف قريبة من سرعة السفينة، و**b** عندما تكون سرعة الهدف أكبر من سرعة السفينة، ومجال تلك المجموعات هو **[0-50]**.



الشكل (16) مجموعات التضبيب للسرعة النسبية للهدف.

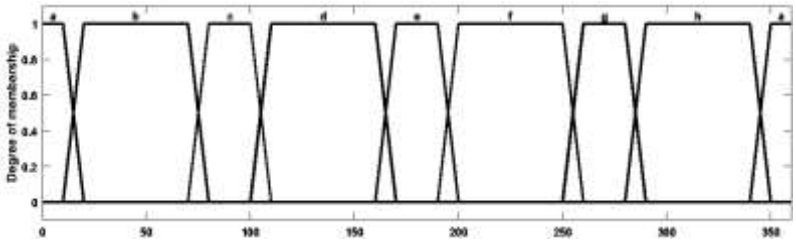
3- المدخل الثالث هو الاتجاه النسبي للهدف **bearing** (الشكل **(17)**) الذي تم تضبيبه بعشرة مجموعات ضبابية ذات شكل شبه منحرف تأخذ المجال **[0-360]** الذي يمثل الدائرة حول السفينة.



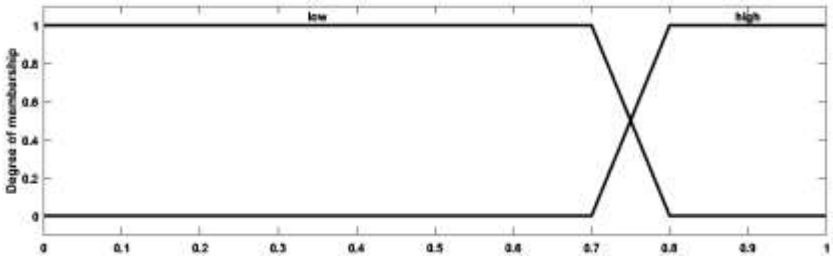
الشكل (17) مجموعات التضبيب للاتجاه النسبي للهدف.

4- المدخل الرابع هو خط السير النسبي للهدف **rel course** الشكل **(18)**، وتم تضبيبه بثماني مجموعات ضبابية ذات شكل شبه منحرف ضمن مجال **[0-360]**.

5- المدخل الخامس هو مؤشر الخطورة وهو خرج نظام تحديد خطر التصادم الضبابي (الشكل (19))، وتم تضبيبه بمجموعتين ضبابيتين ذات شكل شبه منحرف ضمن المجال [0-1].

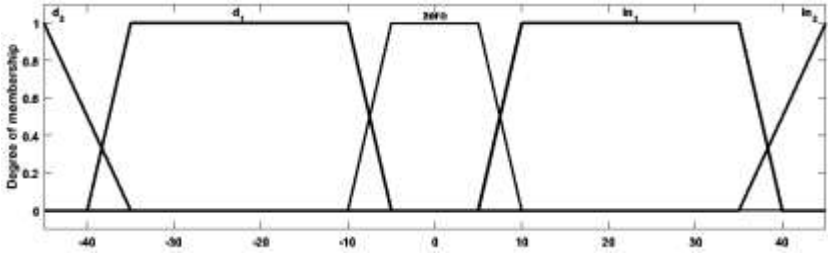


الشكل (18) مجموعات التضبيب لخط السير النسبي للهدف.

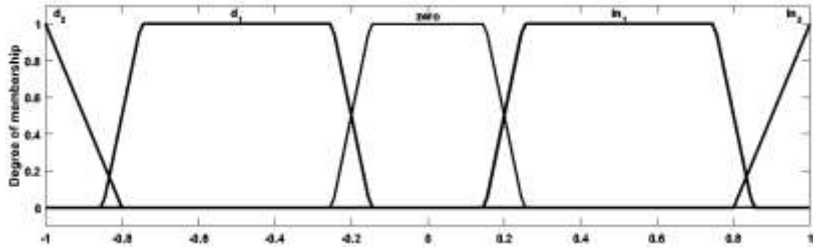


الشكل (19) مجموعات التضبيب لمؤشر الخطر.

إن خرجا النظام موضحين في الشكلين **(20)** و **(21)**، وهما: **add_course** هو مقدار زاوية الاتجاه المتوجب إضافته للمسار و**add_speed** هو مقدار السرعة المتوجب إضافته لسرعة السفينة لتفادي التصادم، على الترتيب. تم تضبيب كل من الخرجين بخمس مجموعات ضبابية ذات شكل شبه منحرف هي: **d1** تعني إنقاص الخرج بمقدار متوسط، و**d2** تعني إنقاص الخرج بمقدار كبير، و**in1** تعني زيادة الخرج بمقدار متوسط، و**in2** تعني زيادة الخرج بمقدار كبير، و**zero** تعني زيادة أو إنقاص الخرج بمقدار صغير قد يصل للصفر.



الشكل (20) مجموعات التضبيب للخرج الأول خط السير المطلوب.



الشكل(21) مجموعات التضبيب للخرج الثاني السرعة المطلوبة.

تم تشكيل قاعدة القوانين باستخدام الاستفسارات من الشكل **if…then** والجدول **(2)** يظهر بعضاً من تلك القواعد، حيث يبلغ العدد الكلي للقواعد **378** قاعدة. استخدمت طريقة مركز الثقل لفك تضبيب المخارج. ولقد تم تصميم النظام منع التصادم الضبابي مع مؤشر الخطورة بالاستعانة بالخبرة البشرية التي أخذت من العديد من البحارة، وتم محاكاته في بيئة **MATLAB/Simulink**.

الجدول (2) بعض قواعد قاعدة القوانين لنظام تفادي التصادم الضبابي المقترح.

1. If (range is danger) and (vt/vo is s) and (bearing is 1_f) and (rel_course is e) and (hcr is low) then (add_course is in_2) (1)
2. If (range is danger) and (vt/vo is s) and (bearing is 1_f) and (rel_course is e) and (hcr is high) then (add_course is in_2)(add_speed is in_2) (1)
3. If (range is cas) and (vt/vo is s) and (bearing is 1_f) and (rel_course is e) and (hcr is low) then (add_course is in_1) (1)
⋮
376. If (range is forb) and (vt/vo is m) and (bearing is 1_f) and (rel_course is a) and (hcr is high) then (add_course is d_2)(add_speed is d_2) (1)
377. If (range is forb) and (vt/vo is f) and (bearing is 1_f) and (rel_course is a) and (hcr is low) then (add_course is d_1)(add_speed is d_2) (1)
378. If (range is forb) and (vt/vo is f) and (bearing is 1_f) and (rel_course is a) and (hcr is high) then (add_course is d_2)(add_speed is d_2) (1)

النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث تصميم نظام منع تصادم مع مؤشر خطورة الهدف وفق الخوارزمية الموضحة في الشكل (8)، والمكونة من ثلاثة أنظمة، هي نظام تحديد المناطق الخطرة والآمنة الضبابي، ونظام تحديد مؤشر خطورة الهدف الشكل (9)، ونظام منع التصادم الضبابي مع مؤشر خطورة الهدف الشكل (14). وقد تم الاستعانة بالخبرة البشرية بالتصميم خصوصاً للحالات الطارئة التي يكون فيها مؤشر الخطورة عالياً والهدف لم يناور. واستخدمت بيئة **MATLAB** في تصميم النظام المقترح ومحاكاته.

تم اختبار كامل النظام المقترح في بيئة MATLAB وفق البارامترات التالية:

1- السرعة النسبية v_o/v_o=0.5، سرعة السفينة v_o=10 $knote$، سرعة الهدف v_t=20 $knote$.

2- الإحداثيات الابتدائية للسفينة: (x=0, y=0).

3- خط سير السفينة للشمال أي 0 deg.

4- توضع الهدف وفقاً لحالات التصادم المبينة بالأشكال من (2) إلى (5).

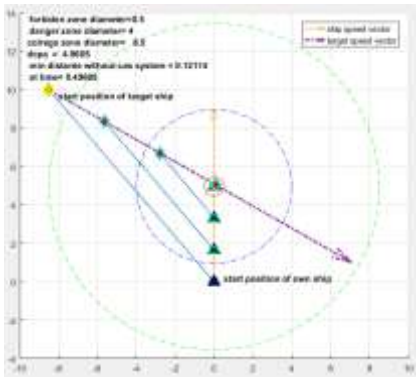
وقد تم تقسيم الاختبار وفق حالتين: في الحالة الأولى حق الطريق للسفينة وتقع مسؤولية المناورة على الهدف ولم يناور حيث تم دراسة هذه الحالة وفقاً لأربعة سيناريوهات، وفي الحالة الثانية حق الطريق للهدف وتقع مسؤولية المناورة على السفينة حيث تم اختبارها من خلال السيناريو الخامس.

تم تقييم العمل وفقاً للمسافة الدنيا لأقرب نقطة للوصول $\mathbf{dcpa_{min}}$، وكذلك وفقاً لأصغر مسافة حصلت بين الهدف والسفينة، بالإضافة إلى القرار المتخذ لخط السير والسرعة المطلوبتين.

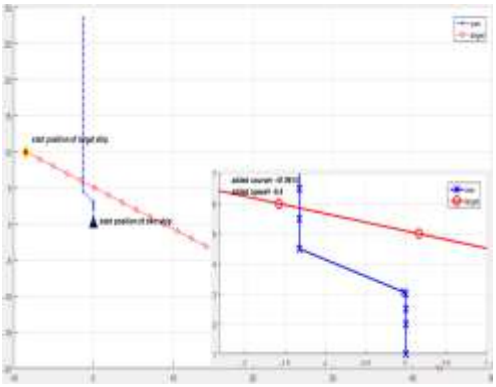
الحالة الأولى: حق الطريق للسفينة وتقع مسؤولية المناورة على الهدف ولم يناور

السيناريو الأول: الهدف يسار وأمام السفينة ويتجه باتجاهها، المناورة متوجبة على الهدف ولكنه لم يناور. يظهر الشكل **(22)** حالة التصادم وفق هذا السيناريو بدون تطبيق نظام منع التصادم المقترح، تقع منطقة التصادم على بعد **4.96mile** مسافة التصادم بين السفينة والهدف **0.12mile** ضمن المنطقة الممنوعة التي نصف قطرها **0.5mile**، ويظهر الشكل **(23)** المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح لتصبح أصغر مسافة بين الهدف والسفينة بعد تنفيذ المناورة **1.952mile** وعلى مسافة **dcpa=0.041**، إن تجاوز منحني **dcpa** للخط الممثل للمنطقة الممنوعة في الشكل **(24)** يعني أن أقرب مسافة بين السفينة والهدف تقع بعد أن تجاوزت السفينة

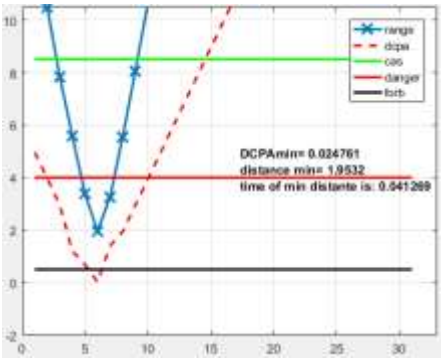
الهدف. ويظهر الشكل **(25)** القرارات المتخذة من قبل نظام منع التصادم والمؤثرة على مسار السفينة لتفادي الاصطدام، حيث كانت القرارات بتحريك السفينة باتجاه اليسار بزاوية **41.961^{o}** وتخفيض سرعة السفينة بمقدار **9.4[m/sec]**، وهذا ما يحاكي قرار القبطان الذي يتوجب عليه تغيير اتجاه السفينة باتجاه اليسار حتى يقطع مقدمة السفينة منتصف الهدف.



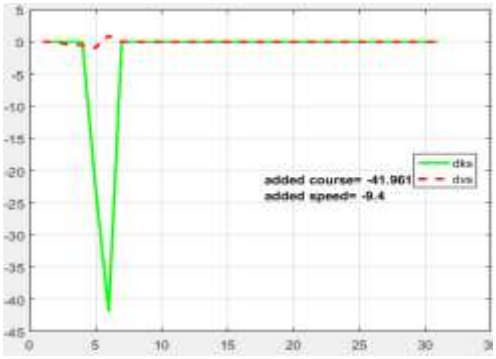
الشكل (22) حالة التصادم وفق السيناريو الأول بدون تطبيق نظام منع التصادم المقترح



الشكل (23) المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح

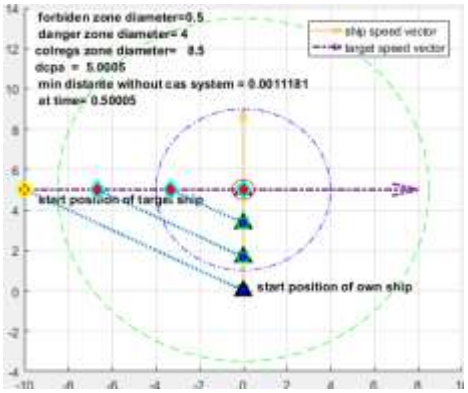


الشكل (24) أصغر مسافة بين الهدف والسفينة وبعدها عن السفينة dcpa

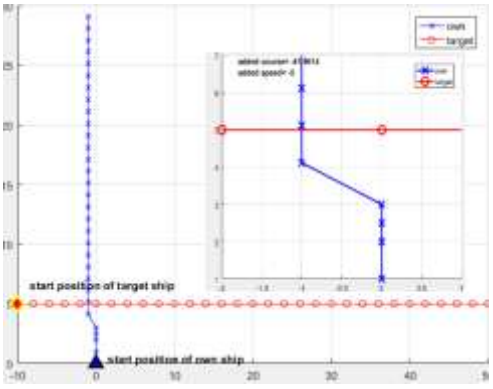


الشكل (25) زاوية خط السير والسرعة المضافة على خط سير وسرعة السفينة لتفادي التصادم

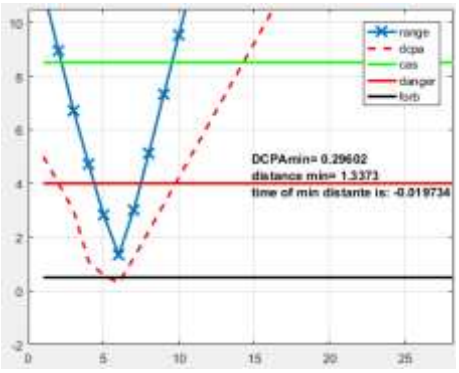
<u>السيناريو الثاني:</u> الهدف يسار السفينة ويتجه باتجاهها، المناورة متوجبة على الهدف ولكنه لم يناور. يظهر الشكل **(26)** حالة التصادم وفق هذا السيناريو بدون تطبيق نظام منع التصادم المقترح. تقع منطقة التصادم على بعد **5mile** مسافة التصادم بين السفينة والهدف **0mile** ضمن المنطقة الممنوعة التي نصف قطرها **0.5mile**، ويظهر الشكل **(27)** المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح لتصبح أصغر مسافة بين الهدف والسفينة بعد تنفيذ المناورة **1.373mile** وعلى مسافة **dcpa=0.296**، إن تجاوز منحني **dcpa** للخط الممثل للمنطقة الممنوعة في الشكل **(28)** يعني أن أقرب مسافة بين السفينة والهدف تقع بعد أن تجاوزت السفينة الهدف. ويظهر الشكل **(29)** القرارات المتخذة من قبل نظام منع التصادم والمؤثرة على مسار السفينة لتفادي الاصطدام، حيث كانت القرارات بتحريك السفينة باتجاه اليسار بزاوية **41.961^{o}** وتخفيض سرعة السفينة بمقدار **5[m/sec]**، وهذا ما يحاكي قرار القبطان الذي يتوجب عليه تخفيض سرعة السفينة واتجاهها باتجاه اليسار حتى يقطع مقدمة السفينة منتصف الهدف.



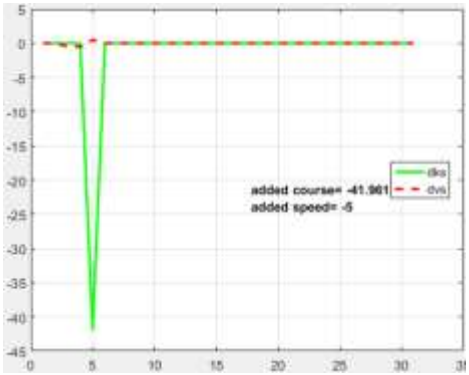
الشكل (26) حالة التصادم وفق السيناريو الثاني من دون تطبيق نظام منع التصادم المقترح.



الشكل (27) المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح.

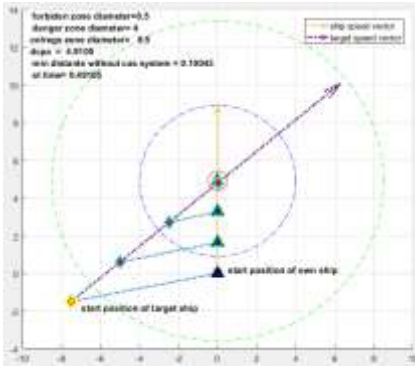


الشكل (28) أصغر مسافة بين الهدف والسفينة وبعدها عن السفينة dcpa.

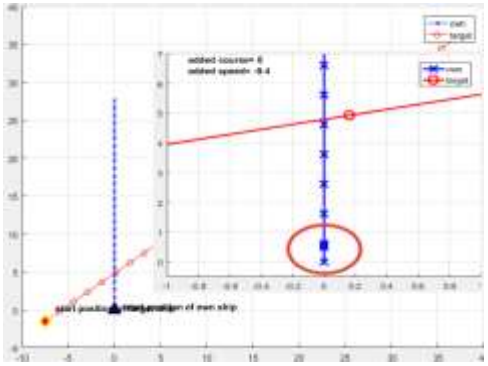


الشكل (29) زاوية خط السير والسرعة المضافة على خط سير وسرعة السفينة لتفادي التصادم.

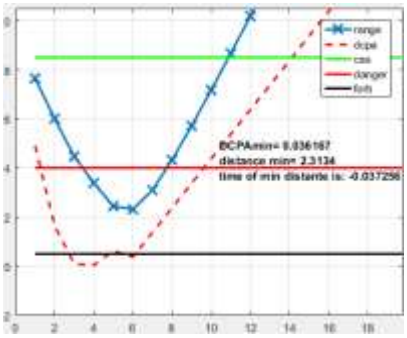
<u>السيناريو الثالث:</u> الهدف يسار وخلف السفينة ويتجه باتجاهها، المناورة متوجبة على الهدف ولكنه لم يناور. يظهر الشكل **(30)** حالة التصادم وفق هذا السيناريو بدون تطبيق نظام منع التصادم المقترح، تقع منطقة التصادم على بعد **4.91mile** مسافة التصادم بين السفينة والهدف **0.1mile** ضمن المنطقة الممنوعة التي نصف قطرها **0.5mile**، ويظهر الشكل **(31)** المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح لتصبح أصغر مسافة بين الهدف والسفينة بعد تنفيذ المناورة **2.313mile** وعلى مسافة **dcpa=0.036** إن تجاوز منحني **dcpa** للخط الممثل للمنطقة الممنوعة في الشكل **(32)** يعني أن أقرب مسافة بين السفينة والهدف تقع بعد أن تجاوزت السفينة الهدف. يظهر الشكل **(33)** القرارات المتخذة من قبل نظام منع التصادم والمؤثرة على مسار السفينة لتفادي الاصطدام، حيث كانت القرارات تخفيض سرعة السفينة بمقدار **5[m/sec]**، وهذا ما يحاكي قرار القبطان الذي يتوجب عليه تخفيض سرعة السفينة حتى يظهر الهدف أمام السفينة.



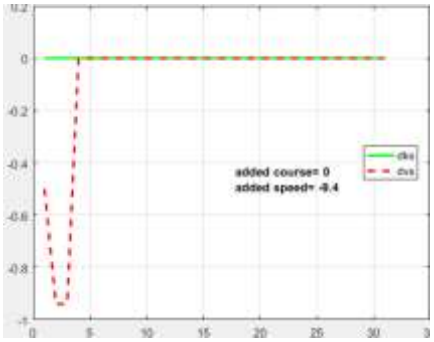
الشكل (30) حالة التصادم وفق السيناريو الثالث من دون تطبيق نظام منع التصادم المقترح.



الشكل (31) المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح.

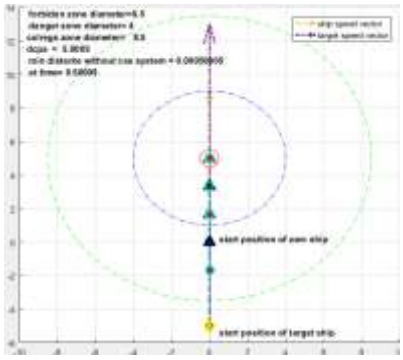


الشكل (32) أصغر مسافة بين الهدف والسفينة وبعدها عن السفينة dcpa.

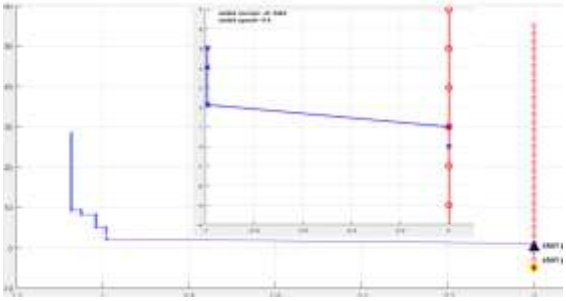


الشكل (33) زاوية خط السير والسرعة المضافة على خط سير وسرعة السفينة لتفادي التصادم.

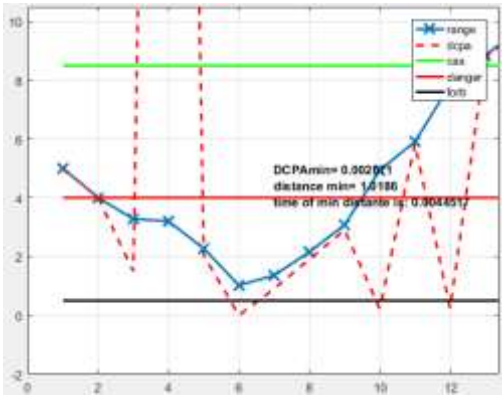
<u>السيناريو الرابع:</u> الهدف خلف السفينة ويتجه باتجاهها وسرعته ضعفي سرعتها المناورة متوجبة على الهدف ولكنه لم يناور. يظهر الشكل **(34)** حالة التصادم وفق السيناريو الرابع بدون تطبيق نظام منع التصادم المقترح، تقع منطقة التصادم على بعد **5mile** ومسافة التصادم بين السفينة والهدف **0mile** ضمن المنطقة الممنوعة التي نصف قطرها **0.5mile**، ويظهر الشكل **(35)** المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح لتصبح أصغر مسافة بين الهدف والسفينة بعد تنفيذ المناورة **1mile** وعلى مسافة **dcpa=0.004** إن تجاوز منحني **dcpa** للخط الممثل للمنطقة الممنوعة في الشكل **(36)** يعني أن أقرب مسافة بين السفينة والهدف تقع بعد أن تجاوزت السفينة الهدف. يظهر الشكل **(37)** القرارات المتخذة من قبل نظام منع التصادم والمؤثرة على مسار السفينة لتفادي الاصطدام، حيث كانت القرارات تخفيض سرعة السفينة بمقدار **9.4[m/sec]** ومن ثم زيادتها تدريجياً، وكذلك تغيير خط سير السفينة باتجاه اليسار بمقدار **41.345^{o}** وتخفيضها تدريجياً وهذا ما يحاكي قرار القبطان الذي يتوجب عليه تخفيض سرعة السفينة وتغيير خط سيرها مفسحاً الطريق للهدف حتى يظهر الهدف أمام السفينة.



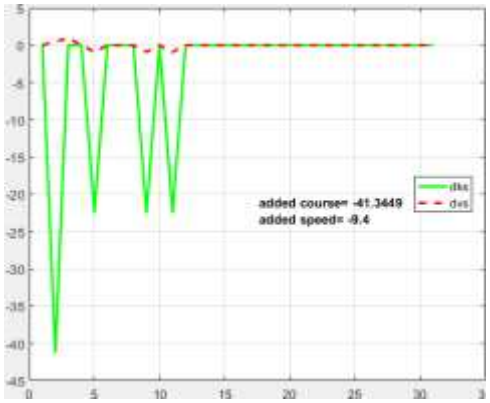
الشكل (34) حالة التصادم وفق السيناريو الرابع من دون تطبيق نظام منع التصادم المقترح.



الشكل (35) المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح.



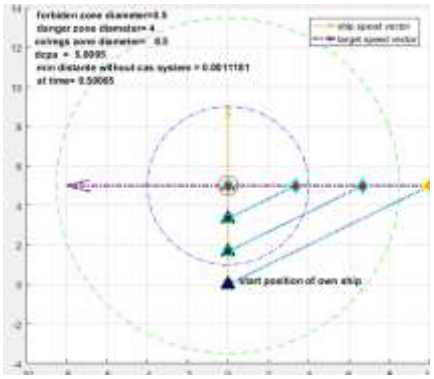
الشكل (36) أصغر مسافة بين الهدف والسفينة وبعدها عن السفينة dcpa.



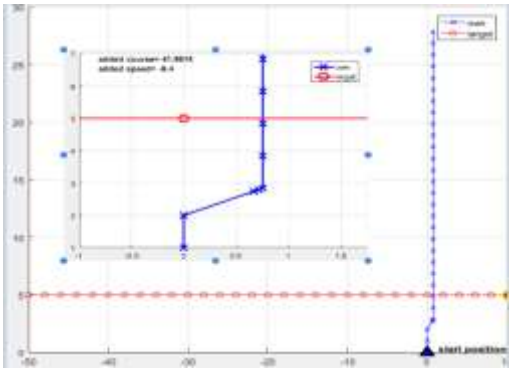
الشكل (37) زاوية خط السير والسرعة المضافة على خط سير وسرعة السفينة لتفادي التصادم.

<u>الحالة الثانية: حق الطريق للهدف وتقع مسؤولية المناورة على السفينة</u>

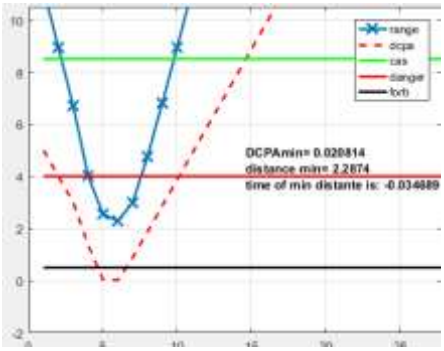
<u>السيناريو الخامس:</u> الهدف يمين السفينة ويتجه باتجاهها المناورة متوجبة على السفينة. يظهر الشكل **(38)** حالة التصادم وفق السيناريو الخامس بدون تطبيق نظام منع التصادم المقترح. تقع منطقة التصادم على بعد **5mile** مسافة التصادم بين السفينة والهدف **0mile** ضمن المنطقة الممنوعة التي نصف قطرها **0.5mile**، ويظهر الشكل **(39)** المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح لتصبح أصغر مسافة بين الهدف والسفينة بعد تنفيذ المناورة **2.287mile** وعلى مسافة **dcpa=0.02**، إن تجاوز منحني **dcpa** للخط الممثل للمنطقة الممنوعة في الشكل **(40)** يعني أن أقرب مسافة بين السفينة والهدف تقع بعد أن تجاوزت السفينة الهدف، يظهر الشكل **(41)** القرارات المتخذة من قبل نظام منع التصادم والمؤثرة على مسار السفينة لتفادي الاصطدام، حيث كانت القرارات بتحريك السفينة باتجاه اليمين بزاوية 41.961^{o} وتخفيض سرعة السفينة بمقدار **9.4[m/sec]**، وهذا ما يحاكي قرار القبطان الذي يتوجب عليه تغيير اتجاه السفينة باتجاه اليمين وتخفيض السرعة لتفادي التصادم.



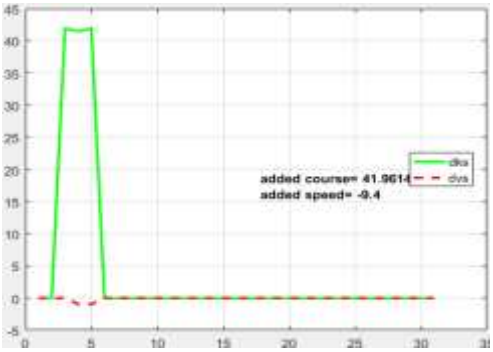
الشكل (38) حالة التصادم وفق السيناريو الخامس من دون تطبيق نظام منع التصادم المقترح.



الشكل (39) المناورة التي نفذتها السفينة لتفادي التصادم من خلال نظام التصادم المقترح.



الشكل (40) أصغر مسافة بين الهدف والسفينة وبعدها عن السفينة dcpa



الشكل (41) زاوية خط السير والسرعة المضافة على خط سير وسرعة السفينة لتفادي التصادم.

يمكن ملاحظة أن أصغر مسافة بين الهدف والسفينة بعد تنفيذ المناورة **2.287mile** أكبر من تلك التي تم الحصول عنها في السيناريو الثاني **1.373mile** وهي الحالة المشابهة لهذا السيناريو ولكن المناورة متوجبة على الهدف ولم يناور، ولأن المناورة واجبة على السفينة فلن تنتظر حدوث خطر لتفاديه كما في السيناريو الثاني.

الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تصميم نظامين ضبابيين أحدهما لتحديد مؤشر خطورة الهدف والآخر نظام منع تصادم ضبابي. تم في نظام منع التصادم استخدام مؤشر خطورة الهدف كأحد مداخل هذا النظام، وقد اعتمدت الخبرة البشرية في تصميم نظام مؤشر خطورة الهدف وكذلك في تصميم المناورات اللازمة لتفادي التصادم مع الأخذ بالاعتبار اللوائح الدولية لمنع التصادم. تم اجراء محاكاة واختبار النظام المقترح في بيئة **MATLAB**. فقد تم إجراء أكثر من **1000** تجربة باستخدام المحاكاة في بيئة الماتلاب للكثير من الحالات الممكنة وكانت جميع النتائج ناجحة من حيث منع التصادم، وقد كانت مقبولة لدى الخبراء الذين تم سؤالهم عنها. وقد تم اختيار عرض إحدى الاختبارات عند حالة بحر **10 bal** والتي تتسم بأمواج عالية جداً مع حركة دائرية قوية ورؤية مشوشة وأسطح الأمواج بشكل عام بيضاء وارتفاع موج **9m** وسرعة رياح تتراوح بين **88-102km/h** وهي حالة بحر خطيرة وغير ملائمة للإبحار **[9]**، وكانت الاستنتاجات كما يلي:

- ✓ استطاعت السفينة تفادي التصادم مع الهدف في جميع الحالات المدروسة التي كان حق الطريق فيها للسفينة ولكن الهدف لم يناور، هذه الحالة تعد خطيرة ومسبباً رئيسياً لحوادث التصادم في البحر.

- ✓ زادت المسافة بين الهدف والسفينة في منطقة التصادم حتى أصبحت أكبر نصف قطر المنطقة الممنوعة، بالرغم من نقصان المسافة لمنطقة التصادم $\mathbf{d_{cpa}}$ إلا أن المسافة بين السفينة والهدف لازالت آمنة.
- ✓ في الحالات التي فيها حق الطريق للهدف والمناورة على السفينة، استطاعت السفينة المناورة وتفادي التصادم ولم تصل في مناورتها إلى المنطقة الخطرة.
- ✓ جميع المناورات التي تمت والتي صمم النظام عليها اعتمدت على الخبرة البشرية مع الأخذ بالحسبان اللوائح الدولية لمنع التصادم.
- ✓ كل الاختبارات جرت على حالة هدف واحد، ويتوجب البحث في حالة أهداف متعددة، وهذا ما يمكن العمل عليه مستقبلاً.

المراجع

1. FUJI, J, TANAKA, K. *Traffic Capacity*. The Journal of Navigation, Vol.24, 1971, 543- 552.

2. GOODWIN, E. M. *A statistical study of ship domains*. The Journal of Navigation, Vol.28(3), 1975, 328−344.

3. MENG, XU. Q, WANG, X. N. *Intelligent evaluation system of ship management*. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol.4(4), 2010, 479−482.

4. GUO-YOU, S, CHUAN-YING, J. *Algorithms of DCPA, TCPA for marine simulator*. Journal of Dalian Maritime University, Vol. 25(3), 1999, 17−20.

5. FUKUTO, J, HASEGAWA, K, MIYAKE, R, YAMAZAKI, M, *Ship handling simulator for assessing onboard advanced navigation support systems and services Introduction of Intelligent Ship Handling Simulator*, Proc MARSIM 2012. Singapore, 2012, 159−166.

6. SHU, C, AHMAD, R, LEE, B, KIM, D, *Composition ship collision risk based on fuzzy theory*, J. Cent. South Univ, Vol. 21, (2014), 4296−4302

7. BENSHI, Q, HANNA, J, JOLAHA, O. *Design an Adjustable Fuzzy Collision Avoidance System for Marine Vehicle*, Research Jornal Of Aleppo University, Syria, Vol.144, 2018.

8. IMO, International Maritime Organization, *COLREGS International Regulations for Preventing Collisions at Sea*, Lloyd's Register Rulefinder– Version 9.4, 2005**.**

9. JOURNÉE, J. M. J, PINKSTER, J, *Ship Hydromechanics, Part I: Introduction*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, January, 2001, 24-27.