مجلة البحوث المالية
المجلد (٢٣) – العدد الأول – يناير ٢٠٢٢

الدمج بين نمذجة الأحداث المتطرفة وسندات الكوارث لإدارة مخاطر جنوح السفن في قناة السويس

Combine Extreme Event Modeling and CAT Bonds to Manage the Risks of Ships' Grounding in Suez Canal

د. مها محمد زكي علي،
أستاذ مساعد بقسم التأمين
كلية التجارة جامعة الأزهر - تفهنا الأشرا ف
maha_zaki2003@yahoo.com

رابط المجلة: https://jsst.journals.ekb.eg/

ملخص البحث

تعتبر حوادث جنوح السفن واحدة من الأنواع الرئيسية للحوادث البحرية، ويمكن أن تكون المخاطر المرتبطة بهذه الحوادث ذات أضرار كارثية على النظام والمجتمع والبيئة. وهذا يسلط الضوء على أهمية المنهجية المناسبة لتقييم وإدارة المخاطر المرتبطة بهذه الحوادث. من ثم فإن هذه الدراسة لها ثلاثة أهداف. أولاً، تقترح إطارًا منهجيًا مناسبًا لنمذجة المخاطر المرتبطة بحوادث جنوح السفن في قناة السويس باستخدام نظرية القيم المتطرفة. ثانيًا، تستعرض وتناقش مفهوم سندات الكوارث التي يمكن تطبيقها عمليا لمعالجة الأضرار الناجمة عن مخاطر جنوح السفن. ثالثًا، الدمج بين قيم المعلمات المقدرة بموجب توزيع القيم المتطرفة وسندات الكوارث لتقييم وتسعير دوال لسندات الكوارث التي يمكن استخدامها لإدارة المخاطر الناجمة عن حوادث جنوح السفن في قناة السويس. يتضمن النموذج دوال مختلفة للسداد مع إدراج معدلات الفائدة والتضخم لجعل النموذج ديناميكيا. كما تم تقديم مثالاً عددياً في أخر البحث يقارن بين الأسعار في ظل السيناريوهات المختلفة من أجل المساعدة في تقديم أسعار عادلة لسندات الكوارث.

وأهم ما توصي به الدراسة هو ضرورة استخدام توزيعات القيم المتطرفة في تمثيل بيانات الخسائر الفادحة، والخروج من شكل التأمين وإعادة التأمين التقليدي إلى أسواق رأس المال الواسعة لتمويل هذه الخسائر.

الكلمات المفتاحية: قناة السويس ، حوادث جنوح السفن ، توزيع القيم المتطرفة ، سندات الكوارث.

Abstract

Ship grounding is one of the major types of marine accidents, and the risks associated with it can be catastrophic to system, society and the environment. This highlights the importance of an appropriate methodology for assessing and managing the risks associated with these accidents. Hence, this study has three objectives. First, it proposes an appropriate methodological framework for modeling the risks associated with ship grounding in Suez Canal using Extreme Value theory. Second, it reviews and discusses the concept of catastrophe (CAT) bonds that can be practically applied to address damages caused by the risk of ship stranding. Third, combine parameters values estimated under the Extreme Value distribution and the cat bonds structure to evaluate and price the cat bond functions that can be used to manage the risks arising from ship grounding in Suez Canal. The model includes various payment functions with the inclusion of interest and inflation rates to make the model dynamic. A numerical example was also presented at the end of the research comparing prices under different scenarios in order to help provide fair prices for catastrophe bonds. The most important thing that the study recommends is the necessity of using Extreme Value distribution in representing the data of severe losses, and to get out of the traditional insurance and reinsurance form to the broad capital markets to finance these losses.

Keywords: Suez Canal - ship grounding accidents - Extreme Value distribution - catastrophe bonds.

مقدمة

الجنوح هو أحد أكثر الحوادث البحرية شيوعًا [Abouelfadl, et.all (2017)]. عندما تنحرف السفينة تجاه الأرض سواء بسبب خطأ في الملاحة أو عطل في المحرك، فإنها لم تعد في ظروف التشغيل العادية. حيث توجد قوى مختلفة تؤثر على طفو السفينة واستقرارها. هذا الاضطراب في ظروف السفينة وخصائص ثباتها بسبب الجنوح يتطلب الانتباه وإعادة التقييم لحالة الاستقرار العام للسفينة. وعندما تكون السفينة في وضع الجنوح فإنها تكون في حالة حرجة. ويكون الوقت عامل أساسي، فكلما طالت مدة بقاء السفينة في وضع الجنوح، زادت الاحتمالات لمزيد من الأضرار والخسائر. وإذا لم يتم اتخاذ الإجراءات المناسبة على الفور، فقد تتدهور الخسائر في السفن، مما يؤثر على المزيد من الخسائر للطاقم والبضائع والبيئة والسفينة نفسها.

وإذا كانت السفينة لا تزال سليمة بعد الجنوح فإنه يتم اتباع مجموعة طرق مختلفة لإعادة التعويم. تعتمد السفينة على الطريقة التي تنحني بها السفينة في قاع البحر، مع مراعاة العديد من الجوانب الأخرى المتعلقة بالسفينة نفسها وقوتها الهيكلية أو الجوانب الخارجية الأخرى مثل الطقس والبحر وقاع البحر والموقع والوقت. عمليات إعادة التعويم لها ثلاث مراحل. الاستقرار هو المرحلة الأولى التي يتخذها الطاقم لتقييد السفينة في نفس وضع الجنوح ومنع السفينة من التقدم أكثر على الأرض ومنع حدوث ضرر إضافي للسفينة. إعادة التعويم هي المرحلة الثانية لتنفيذ خطة إعادة التعويم، مع مراعاة جميع الجوانب المتأثرة، والتغيرات في خصائص الاستقرار بعد الجنوح. مرحلة ما بعد التعويم هي المرحلة الثالثة عندما تطفو السفينة مرة أخرى بحرية وأمان. تتطلب إعادة تعويم السفينة فهماً جيداً لتأثير الأرض على السفينة، وخصائص استقرار السفينة أثناء الجنوح وحساب تغييرات الأوزان لإنشاء طريقة مناسبة لإعادة تعويم السفينة. [Arsham et al (2013)]

وتعتبر حوادث جنوح السفن في قناة السويس من الحوادث النادرة، إلا أن تحققها يترتب عليه خسائر فادحة. لذلك فإن دراسة هذا النوع من الأحداث يتطلب استخدام نمذجة الأحداث النادرة وذات العواقب الكارثية، والتي من الممكن قياس عواقبها. وكذلك ضرورة البحث عن طرق مبتكرة ولها تكلفة معقولة لتمويل هذه الخسائر بخلاف التأمين وإعادة التأمين التقليدي.

طبيعة المشكلة:

تعتبر حوادث جنوح السفن من الحوادث العالمية، حيث إنها لا تؤثر على الاقتصاد المحلي فقط بل تؤثر على الاقتصاد العالمي.

لذلك فإن مشكلة البحث تتمثل في الاجابة على تساؤل بخصوص ما الذي يمكن عمله لمواجهة الخسائر الناجمة عن حوادث جنوح السفن في قناة السويس ؟ وعندما لا تتوفر تغطية تأمين أو إعادة التأمين – أو أنها ليست كافية لتغطية جميع الخسائر– كيف يتم استخدام أدوات مالية أخرى – مثل سندات الكوارث – لتمويل الخسائر.

الهدف من البحث:

أدى النمو المستمر للتجارة الدولية على مدى العقود الماضية إلى زيادة الأنشطة البحرية مع تضخم المخاطر المرتبطة بها [(Stopford (2009]. وتتعرض السفن في أثناء عبورها قناة السويس لبعض المخاطر والتي يعتبر الجنوح أكثرها شيوعا وأهمية.

وتعتبر مشكلة جنوح السفن من الاحداث النادرة في قناة السويس، ولكن وقوع هذا الحدث يترتب عليه خسائر فادحة للقناة ولأصحاب السفن ويتم مطالبة شركات التأمين بهذه الخسائر وتحول معظم المطالبات للقضاء وما يتنج عن ذلك من مصروفات اضافية واستهلاك وقت ومجهود.

من ثم فإن هذه الدراسة لها ثلاثة أهداف. أولاً، تقترح إطارًا منهجيًا مناسبًا لنمذجة المخاطر المرتبطة بحوادث جنوح السفن في قناة السويس باستخدام نظرية القيم المتطرفة. ثانيًا، تستعرض وتناقش مفهوم سندات الكوارث التي يمكن تطبيقها عمليا لمعالجة الأضرار الناجمة عن مخاطر جنوح السفن. ثالثًا، تدمج الدراسة بين قيم المعلمات المقدرة بموجب توزيع القيم المتطرفة وسندات الكوارث لتقييم وتسعير دوال لسندات الكوارث التي يمكن استخدامها لإدارة المخاطر الناجمة عن حوادث جنوح السفن في قناة السويس.

هذا الاجراء له تأثتير ايجابي على هيئة قناة السويس، حيث تستطيع الحصول على الأضرار التي تكبدتها من جراء جنوح السفن، وفي نفس الوقت سيمنح طمأنينية وثقة لأصحاب ولمشغلي السفن التي تعبر قناة السويس.

أهمية البحث:

تمثل أرباح قناة السويس مصدرا أساسيا من مصادر الدخل القومي المصري. وتتنامى ايرادات القناة وتزداد مع زيادة حركة السفن التي تعبرها وكذلك مع زيادة سعة هذه السفن نتيجة زيادة

حجم التجارة الدولية. ومن هنا فإن العواقب الاقتصادية الناجمة عن تعطل الملاحة في قناة السويس نابعة من الأهمية الإستراتيجية لمثل هذا الممر البحري.

وإذا أدى حادث ما لإغلاق القناة فإن البديل الأكثر ترجيحا المتوافر أمام التجارة الدولية هو طريق رأس الرجاء الصالح. سيوفر عبور السفن من هذا الطريق رسوم عبور قناة السويس، لكنه سيؤدي لزيادة وقت الرحلة ما يقرب من أسبوع وبالتالي استهلاك وقود أكثر.

كما ستكون هناك عواقب خطيرة لهذا الاضطراب على مصر أيضا، حيث تمثل الإيرادات التي تجمعها قناة السويس المصدر الثاني لدخل البلاد بعد السياحة، ومن هنا تأتي الحاجة إلى محاولة منع الحوادث التي تؤدي لإغلاق القناة، وإذا حدثت بالضرورة فيجب معالجتها بشكل سريع.

لذلك تنبع أهمية هذا البحث من أنه يعالج خطر جنوح السفن في قناة السويس بطريقة مبتكرة ولها تكلفة معقولة.

حدود البحث

تقتصر هذه الدراسة على حوادث جنوح السفن في قناة السويس في السنوات الأخيرة والتي ترجع لأسباب عادية غير مرتبطة بالحروب أو أعمال العدوان (كما حدث في حالة اغلاق القناة ابان العدوان الثلاثي على مصر).

منهج البحث

تم استخام المنهج الوصفي لدراسة وتحليل وتفسير حوادث جنوح السفن في قناة السويس، وتحديد مسبباتها وسرد نتائجها، بالاستعانة بالمصادر الأولية والثانوية للبيانات واستخدام التوزيعات الاحتمالية لتمثيلها للتمكن من الوصول لنتائج دقيقة، ثم الدراسة التجريبية من خلال تصميم نموذج لتقييم وتسعير سند كوارث يستخدم لمعالجة خطر جنوح السفن في قناة السويس وتطبيق هذا النموذج على عدة حالات وتفسير النتائج التي تم التوصل إليها.

الدراسات السابقة

الدراسات السابقة في هذا الموضوع محدودة جدا، ونستعرض أهمها فيما يلي. اقترح Ma and Ma (2013) طريقة تقريب مختلطة لتبسيط توزيع الخسارة الإجمالية وإيجاد الحلول العددية لسندات CAT مع صيغ التسعير العامة. استخدم Nowak and Romaniuk (2013) محاكاة مونت كارلو لتحليل الخصائص العددية لصيغة التسعير العامة التي يمكن تطبيقها على سندات CAT ذات دوال السداد المختلفة التي تتضمن نماذج أسعار فائدة مختلفة. جمع Lee and Yu

(2002) بين نموذج معدل الفائدة العشوائي وعملية الخسارة، والتي يُفترض أن لها توزيع طبيعي لوغاريتمي، لحساب أسعار السندات الخالية من مخاطر التخلف عن السداد، والسندات المتزامنة مع مخاطر التخلف عن السداد والمخاطر الأساسية باستخدام طريقة محاكاة مونت كارلو. يمكن استخدام عمليات المحاكاة العددية للتحكم في خطأ تقدير مردود الأوراق المالية المرتبطة بالتأمين، وهي تُظهر أن هيكل هوامش عائد السندات CAT ذو شكل محدب. قام Cox and Pedersen (2000) بتقييم سندات مخاطر الكوارث في بيئة سوق غير مكتملة واستخدموا مصطلح هيكل أسعار الفائدة وهيكل احتمالية مخاطر الكوارث لتطوير إطار تقييم خالٍ من المراجحة.

هيكل البحث

سوف تشتمل هذه الدراسة على المباحث التالية:

المبحث الأول: أهمية قناة السويس للاقتصاد المصري

المبحث الثاني: الأضرار المترتبة على جنوح السفن في قناة السويس

المبحث الثالث: نمذجة الأحداث المتطرفة

المبحث الرابع: سندات الكوارث

المبحث الخامس: الدراسة التجريبية

النتائج والتوصيات

المبحث الأول: أهمية قناة السويس للاقتصاد المصري

تعد القناة أحد أهم خمسة مصادر مستدامة للدخل القومي المصري من العملات الصعبة بعائدات سنوية وصلت إلى أكثر من ٥.٦ مليار دولار حلال عام ٢٠٢٠. ويمكن القول أن القناة تشكل أحد أبرز القطاعات التي تساعد مصر على تحقيق طموحاتها التنموية ومواجهة أزماتها الاقتصادية لأن عائداتها مستقرة مقارنة بعائدات السياحة والسفر والاستثمار الأجنبي وقطاعات أخرى عرضة للتأثر السريع بالأزمات على غرار أزمة جائحة كورونا. ويعكس استقرار العائدات كون القناة أحد أهم الممرات المائية العالمية وأكثرها أمانا للسفن والحاويات التي تشكل أهم وسيلة لنقل السلع والبضائع إلى مختلف الأسواق. حيث تمرُّ أكثر من ٥٠ سفينة يومياً عبر القناة، التي تتعامل مع ما لا يقل عن ٨٠% من حركة التجارة العالمية. [*suezcanal.gov.eg*]
وعلى ضوء هذه الأهمية، فإن تبعات إغلاق القناة تكون ذات تأثير شديد على التجارة العالمية، إذ تذهب التقديرات إلى أن الإغلاق يكلف أسبوعيا من ٦ إلى ١٠ مليارات دولار حسب شركة التأمين الألمانية "اليانز"، كما أنه يضاعف أسعار النقل والتأمين وتكاليف الإنتاج والوقود عدة مرات. وأشارت شركة "إليانز" للتأمين في بيان [*allianz.com.eg*]، أنّ أكثر من ثلث الحوادث في قناة السويس تتعلق بسفن حاويات، وكان الجنوح أكثر الأسباب شيوعاً، مثلما حدث مع "إيفير جيفن."

ويسلِّط إغلاق قناة السويس الضوء على المخاطر التي تواجهها صناعة الشحن مع مرور المزيد من السفن عبر قناة السويس، إذ تمر السفن على هذه الممرّات أيضاً، والتي يزداد حجمها باطِّراد. وبالتالي فإن عمليات إنقاذها، في حال وقوع حوادث، ستصبح أكثر تعقيداً.
وأى إغلاق طويل الأمد سيستدعى إعادة توجيه للسفن، وفى حال الابتعاد عن قناة السويس للسفر حول رأس الرجاء الصالح، سيكون هناك أيام إضافية للرحلات، ما يؤدى إلى تكاليف إضافية كبيرة وتعطيل الجداول الزمنية لشركات النقل البحرى.

أبرز حوادث الجنوح فى تاريخ القناة خلال ٢٠ عامًا [١]

على مدار العشرين عاما الماضية شهدت قناة السويس العشرات من حوادث جنوح السفن منها ما تسبب فى تعطل جزئى بالقناة لساعات قليلة ومنها ما تسبب فى تعطل كلى لفترات زمنية

[١] تم الحصول على هذه المعلومات من مواقع الشبكات الاخبارية مثل BBC و CNN ومواقع اخبارية أخرى.

متفاوتة . ومن أبرز الحوادث التى تعرضت لها قناة السويس خلال العشرين عاما الماضية الحوادث التالية:

- جنوح ناقلة النفط «*Tropic Brilliance*» فى عام ٢٠٠٤ بعد بعدما اصطدمت بأحد جوانب القناة فى القطاع الأوسط وتسبب الحادث فى استعراض الناقلة وإغلاق المجرى بالكامل لمدة وصلت لنحو ٧٢ .
- ارتطام ناقلة النفط الكويتية «الصامدون» فى نهاية ٢٠٠٤ بأحد أرصفة القناة وأحداث شرخا فى بدن الناقلة تسبب فى تسرب بترولى بالقناة قدر بنحو ١٠ آلاف متر مكعب وتمكنت حينها أجهزة الانقاذ بقناة السويس من تخفيف حمولة الناقلة وعادت حركة الملاحة لطبيعتها بعد تعطل استمر ساعات.
- جنوح ناقلة البترول الليبيرية *Mire* في مارس ٢٠١٠ واصطدامها بأحد جانبى المجرى الملاحى مما تسبب فى شرخ بالناقلة أدى لتسرب مياه البحر إلى جسم السفينة واحتجاز ٨ سفن. وكانت السفينة قد تعرضت للجنوح وحدوث ميل بها بعد حدوث ثقب بقاعها ودخول كمية من مياه البحر بداخلها وتوقفت تماماً وبشكل عرضى لتغلق التفريعة الشرقية، مما اضطر إدارة قناة السويس لتعديل مرور السفن التى كانت تسير خلف الناقلة لتمر عبر التفريعة الغربية حينذاك.
- جنوح سسفينة البضائع الصب *grat najest* فى يوليو ٢٠١١ وحمولتها ٢٨ ألف طن عند الكليو ٧٧ قرب الإسماعيلية نتيجة عطل فى أجهزة السفينة، إلا أن أجهزة الإنقاذ تمكنت من سحب السفينة واستئناف حركة الملاحة بعد ٧ ساعات من تعطلها.
- جنوح سفينة الصب "نيو كاترين"" فبراير ٢٠١٦ بمنطقة البلاح وأغلقت القناة حينها المجرى الرئيسى للقناة، لكن الملاحة الدولية لم تتوقف وقتها حيث تم تنفيذ خطة للعبور لتفادى المرور بمنطقة الحادث، واستخدام المجرى الجديد لقناة السويس لتسيير الملاحة بنظام القوافل لانتظام حركة المرور دون تأثير. وكانت السفينة قد إرتطمت بإحدى ضفتى القناة مما تسبب فى إحداث ٨ ثقوب بجسم السفينة أدى لتسرب المياه إلى صهاريج السفينة المحملة ببرادة الحديد .وتمكنت وحدات الإنقاذ بقناة السويس بعد ١٢ يوماً من تعطل السفينة داخل المجرى الملاحى لقناة السويس. وقالت مصادر ملاحية مسئولة بهيئة القناة إن السفينة تم قطرها إلى تفريعة البلاح بعد ارتفاع منسوبها على سطح المياه وتخفيف حمولتها.

- جنوح سفينة الحاويات البنمية *EVER GEIVEN* عام ٢٠٢١ والذي يعد الأصعب من نوعه؛ لأن موقع الحادث جاء فى مكان ليس به ازدواج وهو ما استحال معه تسيير مرور حركة الملاحة واتباع نظام القوافل المتبع سابقا فى مثل هذه الحالات، ولأن السفينة تحمل على متنها حمولة ضخمة وهو ما يصعب عملية تخفيف الحمولة وتعويمها.
- جنوح سفينة الصب CORAL CRSTAL التي ترفع علم بنما في سبتمبر ٢٠٢١ ، وهو حادث الجنوح الثاني في نفس العام. وأدى هذا الحادث للتعليق الجزئي للملاحة بقناة السويس، بعد جنوح السفينة في تفريعة البلاح الغربية، وتسببت في تعطيل ٤ سفن خلفها.

المبحث الثاني: الأضرار المترتبة على جنوح السفن في قناة السويس

تميل الحوادث البحرية إلى أن تكون معقدة وتستغرق وقتًا طويلاً [Williams, Richard (2013)]. وهي تحدث عادةً دون سابق إنذار وتتطلب اتخاذ قرارات سريعة، قرارات يمكن أن يكون لها تأثير كبير على المعالجة المستقبلية للحادث وعلى مزايا المطالبات والالتزامات المترتبة على ذلك. وهذه الحوادث تؤثر على السفينة والطاقم والشحنة والمستأجرين والسلطات والبيئة ومجموعة من الأطراف المعنية الأخرى.

وئؤدي حوادث جنوح السفن في قناة السويس إلى الأضرار التالية:

[Abouelfadl, et.all(2017); Arsham et al (2013)]

- أضرار تحدث لهيكل السفينة: قد يؤدي الجنوح إلى تلف الجزء المغمور من بدن السفينة – وخاصة الهيكل السفلي– ويحتمل أن يؤدي إلى دخول المياه، والذي قد يضر في النهاية بالسلامة الهيكلية للسفينة واستقرارها. كما قد يؤدي الجنوح الشديد إلى تحميل أحمال كبيرة على هيكل السفينة مما قد يؤدي ذلك إلى خرق بدن السفينة.
- أضرار تحدث للشحنة المحملة على ظهر السفينة: قد يؤدي الجنوح والميل الشديد للسفينة لى انسكاب البضائع المحملة على ظهر السفينة، أو تلفها بسبب البلل، أو بسبب التأخر في تسليمها.
- أضرار تحدث لطاقم السفينة: مع جنوح السفينة لضفة القناة وحدوث ارتطام، قد يصاب طاقم السفينة باصابات جسدية. وفي بعض الحالات قد تضطر إدارة القناة لحجز طاقم السفينة

وعدم السماح لهم بالمغادرة إلا بعد انتهاء التسويات وسداد الخسائر التي تقرر مسؤولية مالكي أومشغلي السفينة عنها.

- أضرار تحدث لأطراف ثالثة: سوف تكون هناك أطراف ثالثة متضررة من حادثة جنوح سفينة ما. ومن هذه الأطراف:
  - أصحاب السفن الأخري التي تعطلت بسبب الجنوح. يمكن أن يحدث التأخير في حالة توقف الملاحة غلى أضرار كبيرة على أصحاب السفن سواء بسبب عن أضرار تحدث لسلع قابلة للتلف أو تأخر تسليمات. وتزداد هذه الأضرار مع زيادة مدة تعطل الملاحة واغلاق القناة. كما يمكن أن يقرر بعض مشغلي السفن المتوقفة في انتظار عودة الملاحة الى تغيير مساره والعبور من طريق رأس الرجاء الصالح مع ما سيتحملونه من تكلفة وقود وزمن إضافي للرحلة.
  - أضرار المسؤولية عن التلوث: قد يتطلب إعادة تعويم السفينة الجانحة التقليل من حمولتها وتفريغها في مياه القناة مما يؤدي إلى احداث ضرر كبير في الحياة البحرية في القناة وخصوصا عندما تكون هذه المواد شديدة الخطورة. كذلك يحدث في بعض الأحيان انسكاب كميات كبيرة من السفن المحملة بالنفط في مياه القناة وحدوث بقعة زيتية كبيرة تؤدي لتلوث خطير في مياه القناة.
- أضرار تحدث لهيئة قناة السويس: وهي الجهة المسؤولة عن إدارة وتشغيل قناة السويس. ويقع على عاتق الهيئة أضرار بالغة في حالات الجنوح التي تؤدي لإغلاق القناة بشكل تام:
  - فقد الايرادات التي كان من المتوقع الحصول عليها في ظروف التشغيل العادية.
  - المصروفات التي تتكبدها هيئة القناة في سبيل إعادة تعويم السفينة الجانحة، ومن هذه المصروفات: مصروفات القطر والجر بقاطرات محلية أو استدعاء قاطرات أجنبية ذات حمولات الشد العالية جدا لسحب السفينة بعيدا عن اليابسة. ومصروفات الحفر والتكريك باستخدام الحفارات والكراكات على ضفة القناة. ومصروفات إعاة إصلاح عمليات الحفر والتكريك لضفة القناة وإعادتها كما كانت.
  - المصروفات القضائية التي تتكبدها هيئة قناة السويس لاستعادة الخسائر من مالكي ومشغلي السفينة الجانحة.

دور التأمين البحري في تغطية الأضرار المترتبة على جنوح السفن في قناة السويس

يقتصر نطاق التغطية التي توفرها العديد من أشكال التأمين على منطقة إقليمية مميزة ومحدودة. ومع ذلك، تعبر السفن جميع المحيطات وترسو على الموانئ في جميع أنحاء العالم، وبالتالي يجب أن يكون التأمين البحري عالميًا في نطاقه ليعكس الطبيعة الدولية للصناعة البحرية [Williams, Richard (2013)]. يتعرض مالكو السفن وشركات التأمين أيضًا لمجموعة متنوعة من الخسائر والالتزامات التي تنشأ نتيجة للعديد من أنواع الحوادث المختلفة في العديد من الدول المختلفة والتي تخضع بالتالي للعديد من القواعد القانونية المختلفة. لذلك، يجب أن تكون التغطية الذي يحتاجونها واسعة النطاق بما يكفي ليشمل هذا النطاق الواسع من المخاطر.

وينقسم التأمين البحرى إلى الأنواع التالية: [Rejda, et al (2017)]:

- تأمين هياكل السفن Hull insurance يغطي الأضرار المادية للسفينة أو وعاء النقل.
- تأمين بضائع Cargo insurance ويوفر التغطية التأمينية ضد المخاطر التى تتعرض لها الشحنة أثناء عملية النقل بالبحر، ويمكن أن يمتد هذا التأمين ليشمل عملية النقل من المخازن فى بلد قيام الرحلة البحرية إلى مخازن المؤمن له فى بلد الوصول.
- التأمين على أجرة الشحن (النولون) Freight insurance ويعوض مالك السفينة عن فقدان الأرباح إذا كانت البضاعة تالفة أو مفقودة ولم يتم تسليمها.

أما عن تأمين المسئولية القانونية على ملاك السفن فيمكن شراؤه من شركات التأمين المتواجدة فى السوق المحلية أو الدولية، وبالنسبة للسفن الكبيرة والتى قد تتحمل مبالغ مالية كبيرة فإن أندية تأمين الحماية والتعويض Protection and indemnity (P&I)، تمثل الملاذ الأكثر أماناً والأكثر قبولاً على المستوى الدولى، حيث إن شهادة التأمين التى يقدمونها مقبولة لدى جميع الموانئ فى العالم.

وينقسم هذا التأمين الذى يعد فى الأساس جزءًا من التأمين البحرى إلى تأمين يختص به مالك السفينة، ونوع آخر يختص به مستأجر السفينة، وأهم أنواعه "تأمين جسم السفينة وآلاتها والمسئولية القانونية لمالك السفينة، وتأمين المسئولية القانونية لمستأجر السفينة".

وحال حدوث خسارة أو ضرر يكون مالك السفينة مسئول عنه فإن أندية الحماية والتعويض (P&I) تقدم عن طريق وكلائهم المتواجدين فى جميع بلدان العالم خطاب تعهد، أو ضمان بنكى يكفل – فى أغلب الأحيان – بإطلاق سراح السفينة وقبطانها وبشكل سريع نسبيًا لإكمال رحلتهم.

معظم شركات تأمين الحماية والتعويض P&I هي في الاساس أندية P&I غير هادفة للربح توفر تغطية تأمينية على أساس تبادلي. هذا يعني أن كل عضو في النادي يوافق على مشاركة المخاطر التي تؤثر على الأعضاء الآخرين في النادي ويوافق على المساهمة بالأموال المطلوبة للوفاء بالمطالبات التي قد يتم تقديمها ضد أي عضو في النادي خلال مدة الوثيقة. وبالتالي، فإن التغطية متاحة فقط لتلك المخاطر التي يواجهها غالبية الأعضاء بشكل منتظم وشائع لأن هذه هي المخاطر التي وافق كل عضو على مشاركتها. ومن ثم فد لا تتوفر التغطية للالتزامات غير العادية أو المرهقة للغاية. على سبيل المثال، إذا كان العضو يتحمل مسؤولية تنشأ فقط نتيجة لشروط تعاقدية لا يتم استخدامها بشكل شائع ومنتظم من قبل غالبية الأعضاء، يتم عادةً استبعاد هذه المخاطر من التغطية ما لم يتم الموافقة عليها أولاً من قبل النادي.

وعلى هذا، وعلى الرغم من أن التأمين البحرى يعد واحدًا من أهم قطاعات التأمين لارتفاع قيم الممتلكات التي يغطيها ولارتفاع سعر أقساطه الإجمالية، إلا أن التغطيات التي يوفرها وقيم الخسائر التي يغطيها تكون محدودة. ومن الممكن ألا يكون في استطاعة شركات التأمين أو إعادة التأمين استيعاب الخسائر الكبيرة التي تتحقق في شكل كارثة.

المبحث الثالث: نمذجة الأحداث المتطرفة

هناك العديد من النماذج التي تم استخدامها لإدارة وفهم الأحداث المتطرفة. وتعتير النماذج الإحصائية أو النماذج الاكتوارية من الأدوات المهمة لهذا الغرض [(Sanders, (2005]، حيث يتم استخدام الخبرة السابقة لتقدير عواقب الأحداث المستقبلية.

الفكرة الأساسية هي أنه يمكن تقدير المقادير والاحتمالات المتطرفة عن طريق توفيق "نموذج" لدالة البقاء التجريبية لمجموعة من البيانات باستخدام بيانات الحدث المتطرف فقط بدلاً من جميع البيانات، وبالتالي توفيق توزيع مناسب للذيل فقط. هذا يضمن أن التقدير يعتمد على الذيل بدلاً من البيانات الموجودة في مركز التوزيع.

التوزيع المعمم للقيم المتطرفة *Generalized Extreme Value distribution*

تصف عائلة القيم المتطرفة المعممة *(GEV)* توزيع الحد الأقصى لمجموعات المشاهدات [Embrechts, et al (1997); Coles, (2001); Gumbel, (1958)]. عائلة توزيعات *GEV*، التي يتم تقديمها بواسطة دالة التوزيع التراكمي تكون على الشكل التالي:

$$P(Y < y) = GEV(y\ ;\ \mu, \sigma, \xi) = exp(-[1 + \xi(y - \mu)/\sigma]_+^{-1/\xi})$$

حيث : $\mu, \sigma > 0$ والرمز $[y]_+$ معناه $max\ (y, 0)$

μ هي معلمة الموقع *location parameter* ، و σ هي معلمة القياس *scale parameter* ، و ξ هي معلمة الشكل *shape parameter* وهي التي تحدد سلوك الذيل للتوزيع.

ينبثق من توزيع القيمة المتطرفة المعمم ثلاث توزيعات احتمالية: توزيع جمبل ($\xi = 0$)، وتوزيع فريشت ($\xi > 0$) وتوزيع وايبل ($\xi < 0$).

I. توزيع جمبل *Gumbel Distribution*

دالة التوزيع التراكمية لتوزيع جمبل هي:

$$GEV(y) = exp(-1 + (y - \mu)/\sigma]$$

ويستخدم التوزيع عندما يكون لتوزيع القيم M_n ذيل أسي.

II. توزيع فريشت *Frechet Distribution*

دالة التوزيع التراكمية لتوزيع فريشت هي:

$$G(y) = \begin{cases} o & y \le \mu \\ exp[-(y - \mu)/\sigma)^{-\xi}] & y > \mu \end{cases}$$

ويستخدم التوزيع عندما يكون للقيم M_n توزيغ ذو ذيل ثقيل.

III. توزيع وايبل *Weibull Distribution*

دالة التوزيع التراكمية لتوزيع وايبل هي:

$$G(y) = \begin{cases} exp[-(-(y - \mu)/\sigma)^{-\xi})] & y < \mu \\ 1 & y \ge \mu \end{cases}$$

ويستخدم التوزيع عندما يكون للقيم M_n توزيغ ذو ذيل خفيف له حد أعلى محدد.

يتم تقدير المعلمات باستخدام طريقة الامكان الأعظم أو طريقة العزوم. وسيتم استخدام البرنامج الاحصائي R لتقدير المعلمات المطلوبة.

المبحث الرابع: سندات الكوارث *Cat Bonds*

السند هو أداة دين مالية تصدرها هيئة عمومية (الدولة، أو منظمة حكومية أو منظمة أهلية) ويمثل جزء من قرض طويل الأجل وتعطي هذه الأداة صاحبها أحقية استلام أرباح في شكل كوبونات دورية، كما تعطيه أحقية استرجاع المبلغ المقرض في وقت متفق عليه لاحقًا (تاريخ الاستحقاق).

لا تختلف سندات *Cat* كثيرًا عن السندات العادية، إلا أن نتائج سندات الكوارث مشروطة بحدوث حدث محفز معين (نقطة انطلاق)، يتم تحديد معاييره في وقت الإصدار [*Pérez-Fructuoso (2008)*]. ويتم تحديد المحفز بناءً على المخاطر المغطاة والطريقة التي يتم بها تنظيم عملية التعويض.

توجد جهات متعددة يمكنها اصدار سندات الكوارث [Sanders, (2005)]. تصدر الحكومة في بعض الدول التي تواجه مخاطر المناخ أو مخاطر الكوارث الأخرى – مثل دول منطقة البحر الكاريبي التي تواجه عواصف مدارية وأعاصير متزايدة – سندات كوارث لمستثمرين على نطاق واسع. وفي بعض الأحيان، قد يكون مُصدر السندات وكالة عامة مثل هيئة النقل في نيويورك.

وغالبًا ما يكون مُصدر السندات شركة إعادة تأمين تكون قلقة بشأن خسائرها بسبب المبالغ المسددة من إعادة التأمين في حالة وقوع كارثة.

تغطي هذه السندات فترة محددة – عادة من سنة إلى ثلاث سنوات. يدفع مُصدر السندات للمستثمرين معدل فائدة مرتفع على رأس المال، ثم يتم وضع رأس المال في حساب ضمان حيث يتم استثمار الأموال في أوراق مالية منخفضة المخاطر. إذا حدثت كارثة كبرى قبل تاريخ الاستحقاق، يفقد المستثمر بعض أو كل رأس ماله. ويجب أن يحتفظ مُصدر السند بالمبلغ الرئيسي للمساعدة في تغطية الخسائر الفادحة التي خلفتها الكارثة. ولكن إذا لم تكن هناك كارثة ضخمة، فإن المستثمر سيكون قد حقق عوائد كبيرة من الفوائد التي حصل عليها خلال مدة السند. وبعد انقضاء مدة السند، ستبدأ الحكومة أو الوكالة العامة أو معيد التأمين بعد ذلك من جديد، وتعلن عن بيع سندات جديدة لفترة أخرى.

إن سندات الكوارث – مثل أي سند – هي نوع من سندات الدين، مما يعني أنها أصل مالي قابل للتداول. ويبلغ سعر السوق لسند الكوارث، مثل أي سند، قيمة الفائدة المستقبلية المتوقعة

والمدفوعات الأساسية. ولكن إذا رأى المستثمر استثمارًا أفضل، فقد يرغب في بيع سندات الكوارث التي يملكها. وهي ظاهرة تسمى "تداول سندات الكوارث المباشر".

السبب وراء الاندفاع نحو اصدار سندات الكوارث هو عوامل متعددة. أولاً، معدل العائد الكبير على السند مما يمكن الأسواق من الخروج من حالة الركود الاقتصادي. ثانيًا، سندات الكوارث هي استثمارات غير مرتبطة بمدى جودة أداء أسواق الأسهم أو السندات الأوسع، مما يسمح للمستثمرين بالاستمرار في جني الأرباح حتى في أوقات تراجع السوق أو الأزمات المالية.

تحديد مضمون عمل سندات الكوارث

بالنسبة للجزء الأكبر، تتم رعاية هذه الأدوات من قبل شركات التأمين وشركات إعادة التأمين والشركات الخاصة. يمكن تلخيص البنية الأساسية لسندات CAT على النحو التالي (Burnecki, et al (2011); Lane, (2004)):

١. ينشئ الراعي وسيلة ذات أغراض خاصة special purpose vehicle (SPV) – في جوهرها شركة جديدة – كمصدر للسندات، وتحول إليها كل أو جزء من المخاطر الكارثية. في المقابل، تصدر *SPV* وثيقة إعادة تأمين تقليدية مع الراعي وتسعى للحصول على تمويل (إصدار سندات) في سوق رأس المال، والذي يعمل بدوره كطرف مقابل في اتفاقية إعادة التأمين المعمول بها.

٢. يقوم المصدر ببيع السندات للمستثمرين. ويتم استثمار التدفقات النقدية التي تم الحصول عليها من إصدار السندات والأقساط التي يدفعها الراعي لإعادة التأمين من قبل الشركة ذات الغرض الخاص في حساب ضمان.

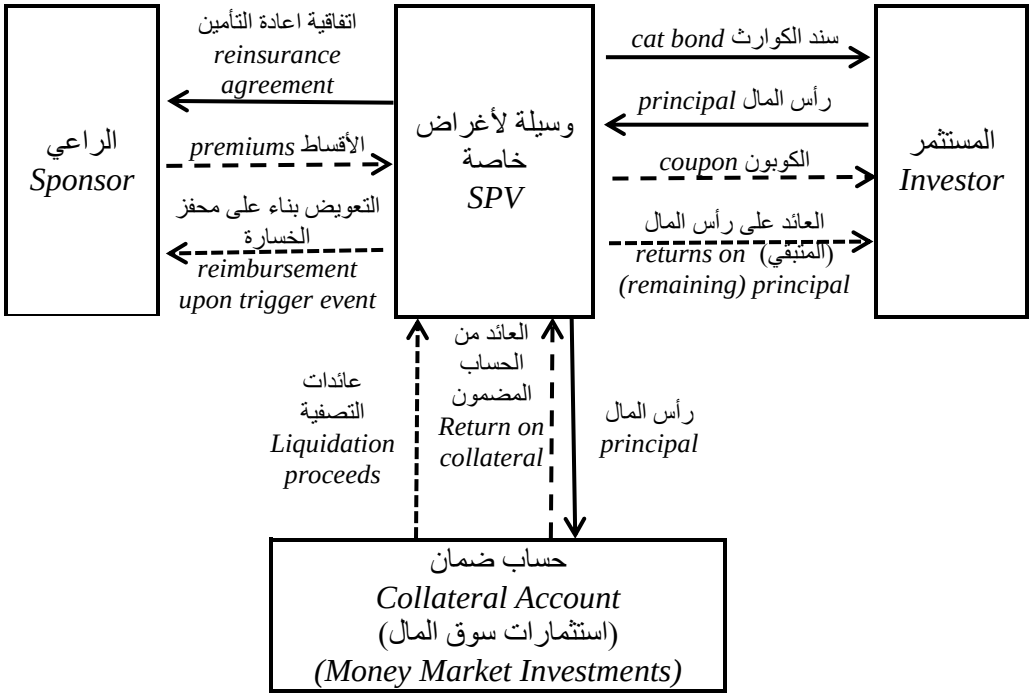
٣. يتم استثمار عائدات السندات في الاستثمارات قصيرة الأجل ذات الربحية العالية والتي يتم إيداعها في حساب الضمان، مما يضمن المعاملة ويوليد موارد كافية لتغطية المخاطر التي تم تحملها في عقد إعادة التأمين ودفع الكوبونات التي تم التعهد بها للمستثمرين بالمبلغ الذي تم إقراضه من خلال شراء السندات.

٤. يتم تبادل الفوائد الحقيقية المتولدة في هذا الحساب في *LIBOR* [٢]، مع طرف مقابل في المقايضة يتم تقييمه بدرجة عالية من قبل وكالات التصنيف. من خلال آلية المقايضة هذه، تصبح السندات أوراقًا ذات معدل عائم، بحيث يتم التخلص من مخاطر أسعار الفائدة في معظم الأحيان

[٢] هو اختصار London InterBank Offered Rate (LIBOR)، وهو متوسط سعر الفائدة المحسوب من التقديرات المقدمة من البنوك الرائدة في لندن. ومن أكثر المعدلات اهمية واستخداما كمرجع في الأعمال الدولية.

[Cummins (2008)]. خلال مدة السند، يتم الحصول على الفوائد الدورية التي تدفعها الشركة ذات الغرض الخاص للمستثمرين من مزيج من عنصرين : الأقساط التي يدفعها الراعي عن طريق تغطية إعادة التأمين وربحية الليبور الناتجة عن أصل السند، والتي يضمنها الطرف المقابل للمبادلة.

٥. في نهاية عمر السند، إذا لم تحدث المطالبة التي يغطيها العقد، يتم إرجاع رأس المال إلى المستثمرين، تمامًا كما هو الحال مع أي استثمار آخر ذو دخل ثابت. ومع ذلك، في حالة حدوث حدث المطالبة المحفزة للسند، اعتمادًا على هيكله وعقد إعادة التأمين، سيفقد المستثمرون الفائدة وأصل الاستثمار أو جزء منه. ويتم سحب الأموال من حساب الضمان ودفعها إلى الراعي.



شكل (١) توضيح هيكل سند الكوارث [Siu and Sip, (2019)]

ويمكن أن تلعب منتجات التوريق هذه دورًا حيويًا في الاستدامة المالية لشركات التأمين وشركات إعادة التأمين، وكذلك للسلطات الحكومية. ويمكن أن يؤدي العائد المرتفع لسندات *CAT* المحددة هنا إلى توفير أموال كافية لسداد المطالبات وتكاليف إعادة الإصلاح بعد وقوع حادث الجنوح.

وسواء أصدرت شركات التأمين أو إعادة التأمين سندات الكوارث فإن ذلك من شأنه أن يضمن الاستقرار المالي لها في حالة حدوث حادثة جنوح كبرى مثل حادثة سفينة الحاويات "أيفر

جيفين"، وذلك من خلال تخفيف عبء الخسائر التي تم تحويلها لأسواق رأس المال وضمان توافر سيولة مالية لها.

أما إذا تولت هيئة قناة السويس اصدار مثل هذه السندات فإن ذلك يضمن ثبات أرباحها وعدم تأثرها بحوادث الجنوح الكبيرة، وقد لا تضطر أيضا للدخول في مفاوضات ودعاوي قضائية للحصول على تعويض من السفن المتسببة في حوادث الجنوح.

المبحث الخامس: الدراسة التجريبية

سيتم في هذا الجزء صياغة نموذج بسيط من فترة واحدة ونموذج من عدة فترات لتقييم وتسعير سند كوارث. تم الحصول على احصائيات تقديرية عن حوادث جنوح السفن في قناة السويس من عدة مصادر، مثل هيئة قناة السويس وبيانات شركات التأمين والشبكات الاخبارية. تراوحت خسائر الجنوح ما بين مبالغ صغيرة لا تكاد يكون لها تأثير على حركة الملاحة في القناة، وخسائر كبيرة أخرى بسبب حوادث جنوح أعاقت حركة الملاحة وأدت لإغلاق القناة لعدة أيام.

سيتم التقييم في اطار عمل مالي – اكتواري يتم تعريفه كما يلي:

$(\Omega, \mathcal{F}, \{\mathcal{F}_t\}_{t\geq 0}, \mathbb{P})$ ، حيث :

t = الزمن $[t=1, 2, \ldots, T]$ ، و $t= o$ يعني الآن.

Ω = فئة جميع الحالات الممكنة

$\mathcal{F}_t$ = التنقيح بناء على المعلومات المتاحة في الزمن t

$\mathcal{F}$ = جبر سيجما

$\mathbb{P}$ = مقياس الاحتمال العادي

سيتم في الجزء التالي تقدير قيمة لسند كواراث لحوادث جنوح السفن في قناة السويس بناء على عدة حلات كما هو موضح أدناه.

أولا- تقدير قيمة سند كوارث لفترة واحدة

لتحديد قيمة السند، نحدد أولاً الرموز التالية:

T : تاريخ استحقاق السند

K : القيمة الاسمية للسند

r_1 : معدل الفائدة الفعلي الخالٍ من المخاطر، ويمكن اعتبار أنه معدل الفائدة على أذون الخزانة لمدة ثلاثة أشهر.

r_2 : معدل التضخم، ويمكن أن يمثله مؤشر أسعار المستهلك CPI

R : معدل الفائدة المحدد في الكوبون. وحيث إن هذه السندات هي سندات عالمية، فيمكن أن يمثله معدل $LIBOR$ لمدة ١٢ شهرًا في تاريخ إصدار السند.

e : قسط تحميل إضافي لمخاطر الجنوح (يكون موجب عادة باعتبار أن المستثمرين كارهين للمخاطر)

P_{CAT} : دالة مدفوعات سند الكارثة والتي تكون ذات تدفق نقدي متعدد الجوانب عند الاستحقاق.

$V(P_{CAT})$: قيمة السند وقت الإصدار.

بافتراض أن ميع المدفوعات تتم في تاريخ الاستحقاق، يتم تحديد قيمة السند وقت الإصدار $V(P_{CAT})$ ، كما يلي [Cox and Pedersen (2000)]:

$$V(P_{CAT}) = \frac{1}{1+(r_1+e)} \cdot \frac{1}{1+r_2}\, \mathbb{E}^{\mathbb{P}}[P_{CAT}] \qquad [5.1]$$

أي أن قيمة السند وقت الإصدار تعتمد على معدل الفائدة الخالي من المخاطر ومعدل التضخم وقسط التحميلات والقيمة المتوقعة (بمقياس احتمالات مناسب) لدالة مدفوعات السند.

من أجل تحديد قيمة السند وقت الاصدار، نحدد أولا دالة مدفوعات السند P_{CAT} بناء على القيمة الاسمية للسند (K)، ونقاط الانطلاق *trigger points* (هي النقاط التي يجب عند الوصول لها اتخاذ قرار ما) التي يتم وضعها من قبل المؤسسة المصدرة للسند.

- **إذا كان السند بدون كوبون فوائد:**

$$P_{CAT} = \begin{cases} K\,, & L \le D_1 \\ k_1\,K\,, & D_1 < L \le D_2 \\ k_2\,K\,, & L > D_2 \end{cases} \qquad [5.2]$$

حيث تمثل L الخسائر الاجمالية، و D_1 و D_2 نقاط الانطلاق $(D_2 > D_1)$ وتكون محددة مسبقا في عقد السند. نقطة الانطلاق هي الحد الذي إذا بلغته الخسائر يتم خصم نسبة محددة من رأس المال أو خسارة رأس المال كله. ويكون لاختيار هذه النقاط تأثيرًا على مستوى توريق السند،

حيث يجب أن توازن الهيئة المصدرة للسندات بين الربح الذي يدره السند وبين تسويقه. يتم الاستعانة بتاريخ الخسائر عند وضع نقاط الانطلاق. ومن الأفضل وضع مستويات مختلفة لدالة السداد لتقليل خطر الاستثمار ولجذب عدد أكبر من المستثمرين. والكسر $k(k \in [0,1))$ يمثل نسبة من القيم الاسمية K التي يجب على حامل السند سدادها عندما يحدث حدث الانطلاق.

أي أن قيمة السند بدون كوبون في تاريخ الاستحقاق T وله قيمة اسمية K ، تحدد عن طريق هيكل المدفوعات التالي:

١. إذا لم تتجاوز الخسارة في وقت انتهاء السند T المستوى D_1 ، فإن حامل السند سيحصل على القيمة الاسمية للسند K.

٢. إذا كانت الخسارة في وقت انتهاء السند T أكبر من المستوى D_1، المحدد مسبقًا ولم يقع أي حادث كبير قبل T ، سيخسر حامل السند جزءًا من رأس ماله ويتلقى $(k_1.K)$ ، بحيث إن $(k_1>0)$.

٣. في حالة وقوع حادث كبير قبل تاريخ انتهاء السند T ، أي أن الخسارة قد تجاوزت الحد D_2 فستنتهي صلاحية السند على الفور وسيحصل حامل السند على مبلغ جزئي من رأس المال $(k_2 K)$ ، و $(k_2 < k_1)$.

نقوم بعد ذلك بإجراء الخصم على المعادلة [5.2] للحصول على قيمة سند الكوارث في الزمن (t).

$$V(P_{CAT}) = \frac{1}{1+(r_1+e)} \cdot \frac{1}{1+r_2}\, \mathbb{E}^{\mathbb{P}}[P_{CAT}]$$

$$V(P_{CAT}) = \frac{1}{1+(r_1+e)} \cdot \frac{1}{1+r_2}\, \mathbb{E}^{\mathbb{P}}[K\,P(L \le D) + k_1\,K\,P(D < L \le E) + k_2\,K\,P(L > E)] \qquad [5.3]$$

- **إذا كان السند يسدد كوبون فوائد:**

بفرض أن السند يسدد كوبون فوائد في نهاية الفترة، فمن ثم تعتمد دالة المدفوعات أيضا على معدل الفائدة المدون في كوبون السند وتأخذ الشكل التالي: [Zimbidis et al. (2007)]

$$P_{CAT} = \begin{cases} K.(1+f(R)), & L < D_1 \\ K.(1+g(R)), & D_1 < L < D_2 \\ K\ , & D_2 < L < D_3 \\ \phi(z), & D_3 < L < D_4 \\ \gamma(z), & L > D_5 \end{cases} \qquad [5.4]$$

حيث: [D_i , $i=1,2,3,4,5$] هي نقاط الانطلاق المحددة مسبقا في عقد السند بحيث يكون $[D_1 < D_2 < D_3 < D_4 < D_5]$

وتمثل الدوال $[f(R), g(R), \phi(z), \gamma(z)]$ دوال مدفوعات الكوبون ويتم تصميمها حسب سياسة الهيئة المصدرة للسندات.

ثانيا- تقدير قيمة سند كوارث لفترات متعددة

نظرًا لأنه لا يمكن التحوط من سندات الكوارث من خلال محفظة من الأسهم والسندات التقليدية، فنحن بحاجة إلى التفكير في سوق غير مكتمل، ليس له نظرية تسعير موحدة [Liang, Qi (2020)]. وفي حالة السوق الخالية من المراجحة، يوجد مقياس محايد للمخاطر $\mathbb{Q}$ وهو مكافئ لمقياس العالم الحقيقي $\mathbb{P}$. ولن يتغير توزيع واستقلالية المتغيرات بموجب مقياس $\mathbb{P}$ اذا ما استخدمنا المقياس $\mathbb{Q}$ ، وتكون عمليات السوق المالي مستقلة عن حدوث الكوارث. ومن ثم نتبع نظرية تسعير الأصول والتي يمكن التعبير عنها على النحو التالي:

$$V_t = E_t^{\mathbb{Q}}(D(t,T)P_{CAT}|\mathcal{F}_t) \qquad [5.5]$$

حيث تشير $E_t^{\mathbb{Q}}$ الى التوقع بناء على مقياس حيادية الخطر $\mathbb{Q}$ بمعلومية $\mathcal{F}_t$.

$$D(t,T) = \exp(-\int_t^T r(s)ds \qquad [5.6]$$

هو عامل الخصم العشوائي stochastic discount factor بين الزمن t والزمن T. و $r(s)$ هو معدل الفائدة اللحظي الديناميكي العشوائي.

ومن أجل تحديد قيمة السند لفترات متعددة، يتم تقدير العمليات التالية:

١- عملية معدل الفائدة الخالي من المخاطر $r_1(t)$

وهو العائد السوقي على أذون الخزانة لمدة عام واحد. ويعطي هذا المعدل معدل الخصم بفائدة مركبة لتدفق نقدي في الفترة $(t+1)$. ويفترض أن يتبع نموذج *ARIMA(1,1,1)* بمعلمات

(θ_1 , α_1) للفترة *(t=1,2,...,T)* ، والتي تحاكي معدل الفائدة جيدا. [Box et al. (2011); Dhaene (1989)]

$$\Delta r_1(t) = C_1 + \theta_1 \Delta r_1(t-1) + \varepsilon_1(t) + \alpha_1 \varepsilon_1(t-1) \quad [5.7]$$

حيث: $\Delta r_1(t) = r_1(t) - r_1(t-1)$

و C_1 ثابت، كما يتم افتراض أن حد الخطأ هو متغيرات مستقلة ولها توزيع متماثل ومسحوبة من مجتمع يتبع التوزيع الطبيعي بمتوسط صفري.

٢- عملية معدل التضخم $r_2(t)$

نفترض أن $(r_2(t) > 0)$ ويتبع نموذج *ARIMA(0,0,1)* بمعلمة (α_2)

$$r_2(t) = C_2 + \varepsilon_2(t) + \alpha_2 \varepsilon_2(t-1) \qquad [5.8]$$

٣- معدل فائدة الكوبون $R(t)$

وهو معدل LIBOR لمدة ١٢- شهر في الزمن (t) . وهو معدل الفائدة اللحظي الديناميكي العشوائي والذي يتبع العملية العشوائية التالية [Cox et al. (1985)]:

$$dr(t) = \alpha_3(\beta_3 - r(t))dt + \sigma_3 \sqrt{r(t)}\, dW(t) \quad [5.9]$$

حيث إن $(\alpha_3, \beta_3, \sigma_3)$ هي معلمات النموذج، و $W(t)$ هي عملية برونيان المعيارية.

تسمى المعادلة السابقة نموذج *CIR* نسبة إلى (Cox, Ingersol, and Ross).

لن نتطرق في هذه الدراسة لشرح كيفية تقديرمعلمات هذه المعادلة. سوف يتم تقدير المعلمات مباشرة باستخدام الحزمة SMFI5 في البرنامج الاحصائي *R*. ويمكن الرجوع للمراجع للمزيد من المعلومات عن نموذج *CIR*. [Ma and Ma (2013); Nowak et al(2013); Shirakawa (2002); Lee et al (2002); Remillard (2013); Brigo et al (2007)]

٤- الخسارة الاجمالية *L(t)* = aggregate loss process

- **إذا كان السند بدون كوبون لفترات متعددة:**

دالة مدفوعات السند P_{CAT} - وهي القيمة التي يتلقاها حامل سند الكوارث في الزمن (*t=1, 2, ..., T*) - يتم التعبير عنها كما يلي:

$$P_{CAT} = \begin{cases} K\,, & L(t) \le D_1 \\ k_1\,K\,, & D_1 < L(t) \le D_2 \\ k_2\,K\,, & L(t) > D_2 \end{cases} \qquad [5.10]$$

$$P_{CAT} = K\,P(L(t) \le D) + k_1\,K\,P(D < L(t) \le E) + k_2\,K\,P(L(t) > E)$$

$$P_{CAT} = K\,F(t,D) + k_1\,K\,[F(t,E) - F(t,D)] + k_2\,K\,[1 - F(t,E)]$$

- **إذا كان السند بكوبون لفترات متعددة**

$$P_{CAT} = \begin{cases} z.(1+f(R)), & L(t) < D_1 \\ z.(1+g(R)), & D_1 < L(t) < D_2 \\ z\,, & D_2 < L(t) < D_3 \\ \phi(z), & D_3 < L(t) < D_4 \\ \gamma(z), & L(t) > D_5 \end{cases} \qquad [5.11]$$

ندخل عامل الخصم كما سبق توضيحه للحصول على قيمة السند في الزمن (t) .

<u>مثال توضيحي</u>

أولا تقدير قيمة السند لفترة واحدة

بفرض أن : $K = 1000\ \$$ ، $r_1 = 0.012$ ، $r_2 = 0.056$ ، $e = 3\%$

$k_1 = 0.25$, $k_2 = 0.5$

مع وضع نقاط الانطلاق التالية: $D = 400\ million$, $E = 1000\ million$

الخطوة الأولى هي تقدير المعلمات لتوزيع القيمة المتطرفة. باستخدام حزمة *xtRemes* في البرنامج الاحصائي R مع محاكاة مونت كارلو نحصل على النتائج التالية (العمليات الحسابية موضحة في ملحق البحث):

$$(\mu, \sigma, \xi) = (170.7816007, 125.1212188, 0.6104882)$$

الخطوة الثانية هي التعويض في معادلة (P_{CAT}) معادلة [5.2] بالمعلمات المقدرة وبالقيم المحددة مسبقا.

$$P_{CAT} = \begin{cases} K\,, & L \le 400 \\ 0.5\,K\,, & 400 < L \le 1000 \\ 0.25\,K\,, & L > 1000 \end{cases}$$

الخطوة الثالثة إجراء عملية الخصم على دالة السداد (P_{CAT}) من أجل التوصل لقيمة $V(P_{CAT})$،

بالتعويض ففي معادلة [5.3] نحصل على قيمة السند $V(P_{CAT})$ تساوي $803.1657 \$$

وهذا معناه أن السند الذي تبلغ قيمته الاسمية $1000 \$$ ستقدر قيمته وقت اصداره بمبلغ $803.1657 \$$ فقط، أي أنه يصدر بخصم.

أما في حالة أن السند له كوبون فوائد، فسوف نعوض في المعادلة [5.4] بالقيم السابقة مع وضع نقاط الانطلاق ودوال سداد كوبونات الفوائد كما يلي:

$$P_{CAT} = \begin{cases} z.(1+2.6), & L < 100 \\ z.(1+1.8), & 100 \le L < 200 \\ z\,, & 200 \le L < 400 \\ 0.8(z), & 400 \le L < 600 \\ 0.55(z), & 600 \le L < 800 \\ 0 & L \ge 800 \end{cases}$$

وبعد إجراء عملية الخصم على دالة السداد (P_{CAT}) نحصل على قيمة السند $V(P_{CAT})$ وهي تساوي $ 855.5456 . وهذا يدل أيضا على أن السند سيباع بأقل من قيمته الاسمية.

ثانيا تقدير قيمة السند لفترات متعددة

نفترض أن مدة سند الكوارث هي ثلاث سنوات *(T=3)*. العمليات هنا أكثر تعقيدا، حيث تتطلب الحسابات أن نقوم أولا بتقدير معلمات نماذج معدل الفائدة والتضخم ومعدل *LIBOR* ، للفترة من (١٩٩٠- ٢٠٢٠). (تم الحصول على البيانات من موقع البنك الدولي *https://data.albankaldawli.org*)

تم تقدير معاملات نموذج *ARIMA(1,1,1)* لمعدل الفائدة $r_1(t)$ باستخدام الحزمة arima والدالة predict في برنامج *R*. كانت معلمات النموذج وفقا لمعادلة *[5.7]* كما يلي:

$$C_1 = 0.0976 \ , \ \theta_1 = 0.2833 \ , \quad \alpha_1 = 1$$

وباتباع نفس الأسلوب، تم تقدير معاملات نموذج *ARIMA(0,0,1)* لمعدل التضخم $r_2(t)$ على مستوى العالم، كانت معلمة النموذج وفقا لمعادلة *[5.8]* تساوي

$$C_2 = 0.8899 \ , \quad \alpha_2 = 0.7867$$

الخطوة التالية هي تقدير معلمات نموذج *CIR* وفقا لمعادلة *[5.9]*

$$\alpha_3 = 0.212421, \qquad \beta_3 = 1.084655\,, \qquad \sigma_3 = 0.420791$$

ثم نقوم بعد ذلك باستخدام معلمات توزيع القيم القصوى للخسائر الكلية ومحاكاة مونت كارلو في تقدير معادلة *[5.5]* و *[5.6]* بنفس نقاط الانطلاق الموضحة مسبقا. يوضح ملحق البحث هذه الحسابات.

في حالة السند بدون كوبون فوائد لفترة ثلاث سنوات قدرت قيمته بمبلغ *$1315.514* . وهذا معناه أن السند سيصدر بأعلى من قيمته الاسمية.

وبلغت القيمة المقدرة لسند الكوارث بكوبون فوائد لفترة ثلاث سنوات مبلغ *$1117.095*. وهو أعلى أيضا من قيمته الاسمية.

نتائج البحث

قدمت هذه الدراسة أسلوبًا للدمج بين نمذجة الأحداث المتطرفة مع سندات الكوارث من أجل اتخاذ قرارات صحيحة فيما يتعلق بنمذجة خطر جنوح السفن في قناة السويس، وذلك بالاعتماد على البيانات المنشورة عن هذه الأحداث والحزمة الاحصائية *extRemes* في برنامج *R*. بعد تقدير معلمات توزيع القيم المتطرفة المعمم وعمليات معدل الفائدة والتضخم ومعدل *LIBOR* والدمج بين هذه المقادير في صورة دوال لتقييم وتسعيير سند كوارث لمخاطر جنوح السفن في قناة السويس توصلت الدراسة النتائج التالية:

١- تم تقدير قيمة سند الكوارث بدون كوبون فوائد لفترة واحدة وقت اصداره بمبلغ *$803.1657* فقط، أي أنه يصدر بأقل من قيمته الاسمية. وربما كان ذلك بسبب أن السند لا يسدد أية قوائد طوال فترة سريانه، مع احتمالية فقدان المستثمرين لجزء من رأس مالهم في حالة حدوث خسارة فادحة.

٢- تم تقدير قيمة سند الكوارث والذي يسدد كوبون فوائد وكانت تساوي $855.5456 . وهذا يدل أيضا على أن السند سيباع بأقل من قيمته الاسمية، ولكن أعلى قليلا من قيمة السند بدون كوبون. وإذا ارتفعت معدلات الفائدة على الكوبون، ستصبح قيمة السند أعلى من القيمة التي تم تقديرها.

٣- بلغت القيمة المقدرة لسند الكوارث بدون كوبون فوائد لفترة ثلاث سنوات مبلغ *$1315.514* . وهذا معناه أن السند سيصدر بأعلى من قيمته الاسمية. ومن الممكن أن

يكون ذلك بسبب أن مدة السند ستكون ثلاث سنوات ولا يوجد في دالة السداد احتمالية لأن يفقد المستثمرون رأس مالهم كاملا.

٤- بلغت القيمة المقدرة لسند الكوارث بكوبون فوائد لفترة ثلاث سنوات مبلغ *1117.095$*. ومع أن هذا السند مدته ثلاث سنوات ويسدد كوبون فوائد، إلا ان قيمته أقل من السند الذي لا يسدد اي كوبونات. ربما يعزو ذلك لوجود احتمالية أن يفقد المستثمرون الفوائد ورأس مالهم كاملا إذا تعدت الخسارة مبلغ ٨٠٠ مليون دولار.

٥- تتغير قيمة السند بناء على عدة عوامل منها عوامل داخلية تتحكم فيها الجهة المصدرة لسندات الكوارث مثل صياغة هيكل دالة السداد الذي تحدده، ونقاط الانطلاق التي يتم وضعها، وفوائد الكوبونات التي يتم سدادها للمستثمرين. كما توجد عوامل أخرى للاقتصاد الكلي لا تستطيع الجهة المصدرة التحكم فيها ممثل معدلات الفائدة والتضخم السائدة في السوق.

أهم ما توصي به الدراسة هو ضرورة استخدام توزيعات القيم المتطرفة في تمثيل بيانات الخسائر الفادحة الناجمة عن أحداث مثل جنوح السفن في قناة السويس لأنها تراعي القيم المتطرفة في ذيل التوزيع وليس القيم التي توجد في مركزه، والخروج من شكل التأمين وإعادة التأمين التقليدي إلى أسواق رأس المال الواسعة لتمويل هذه الخسائر.

كذلك توصي هذه الدراسة في البحث في إمكانية إصدار مثل هذه السندات عن طريق هيئة قناة السويس أو الهيئات التابعة لها مثل شركة قناة السويس للتأمين أو بنك قناة السويس، وذلك في ظل القوانين التي تسمح بها الدولة. وهذا من شانه أن يساعد على استقرار الارباح التي تدرها قناة السويس وضح مزيد من العملة الصعبة لأن السندات ستباع بالدولار.

المراجع

Abouelfadl, Ahmed Helmy and Essam Eldin Youssef Abdelraouf (2017), A Guide to the Influence of Ground Reaction on Ship Stability. Journal of Shipping and Ocean Engineering, 6: 262-273.

Arsham Mazaheri, Jakub Montewka, Pentti Kujala (2013), Modeling the risk of ship grounding – a literature review from a risk management perspective, Journal of Maritime Affairs. https://www.researchgate.net/publication/259581578

Box, G. E., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (2011), Time series analysis: forecasting and control, volume 734. John Wiley & Sons.

Brigo, D. and Mercurio, F. (2007), Interest rate models-theory and practice: with smile, inflation and credit. Springer.

Burnecki, K., Kukla, G., and Taylor, D. (2011), Pricing of catastrophe bonds. In Statistical Tools for Finance and Insurance, pages 371–391. Springer.

Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., and Dorazio, P. (2001), An introduction to statistical modeling of extreme values, volume 208. Springer.

Cox, J. C., Ingersoll Jr, J. E., and Ross, S. A. (1985), A theory of the term structure of interest rates. Econometrica, 53(2):385–407.

Cox, S. H. and Pedersen, H. W. (2000), Catastrophe risk bonds. North American Actuarial Journal, 4(4):56–82.

Cummins, J. D. (2008), Cat bonds and other risk-linked securities: State of the market and recent developments. Risk Management and Insurance Review, 11(1):23–47.

Dhaene, J. (1989), Stochastic interest rates and autoregressive integrated moving average processes. ASTIN bulletin, 19(S1):43–50.

Embrechts, P., Kl¨uppelberg, C., and Mikosch, T. (1997), Modelling extremal events, volume 33. Springer Science & Business Media.

Gumbel, E. (1958), Statistics of extremes. 1958. Columbia Univ. press, New York.

Lane, M.N. (2004), The Viability and Likely Pricing of “CAT Bonds" for Developing Countries, Lane Financial L.L.C.

Lee, J.-P. and Yu, M.-T. (2002), Pricing default-risky cat bonds with moral hazard and basis risk. Journal of Risk and Insurance, 69(1):25–44.

Liang, Qi (2020), Pricing and Numerical Simulation of Earthquake Catastrophic Bonds under the Semi-Markov Process. International Conference on Materials, Control, Automation and Electrical Engineering (MCAEE 2020).

Ma, Z.-G. and Ma, C.-Q. (2013), Pricing catastrophe risk bonds: A mixed approximation method. Insurance: Mathematics and Economics, 52(2):243–254.

Nowak, P. and Romaniuk, M. (2013), Pricing and simulations of catastrophe bonds. Insurance: Mathematics and Economics, 52(1):18–28.

P´erez-Fructuoso, M. J. (2008), Modeling loss index triggers for cat bonds: a continuous approach. Variance, 2(2):253–265.

Remillard, B. (2013). Statistical Methods for Financial Engineering. CRC Press.

Rejda, George E. Michael J. McNamara (2017), Principles of Risk Management and Insurance, 14th Edition, Pearson.

Sanders, D.E.A. et al. (2002), The management of losses arising from extreme events. GIRO 2002.

Sanders, D.E.A. (2005),The Modeling Of Extreme Events. Presented to the Institute of Actuaries.

Schweizer, M. (1995), On the minimal martingale measure and the m¨ollmer-schweizer decomposition. Stochastic analysis and applications, 13(5):573–599.

Shao, Jia (2015), Modelling Catastrophe Risk Bonds. Unpublished Thesis in Mathematical Science, University of Liverpool.

Siu, M., and Sip, A. (2019), Fostering growth as reinsurance and risk management centres in the GBA – Hong Kong sets to introduce insurance linked securities legislation. King&Wood Mallesons.

Stopford, M. (2009), Maritime Economics, third ed. Routledge, London.

Williams, Richard (2013), Gard Guidance on Maritime Claims and Insurance. Published by Gard AS : www.gard.no

Zimbidis, A. A., Frangos, N. E., and Pantelous, A. A. (2007), Modeling earthquake risk via extreme value theory and pricing the respective catastrophe bonds. ASTIN bulletin, 37(1):163–184.

https://www.allianz.com.eg
https://www.suezcanal.gov.eg.
https://data.albankaldawli.org

ملحق البحث

Attaching package: 'extRemes'
The following objects are masked from 'package:stats':
qqnorm, qqplot
> fevd(x , type = "GEV")
fevd(x = x, type = "GEV")

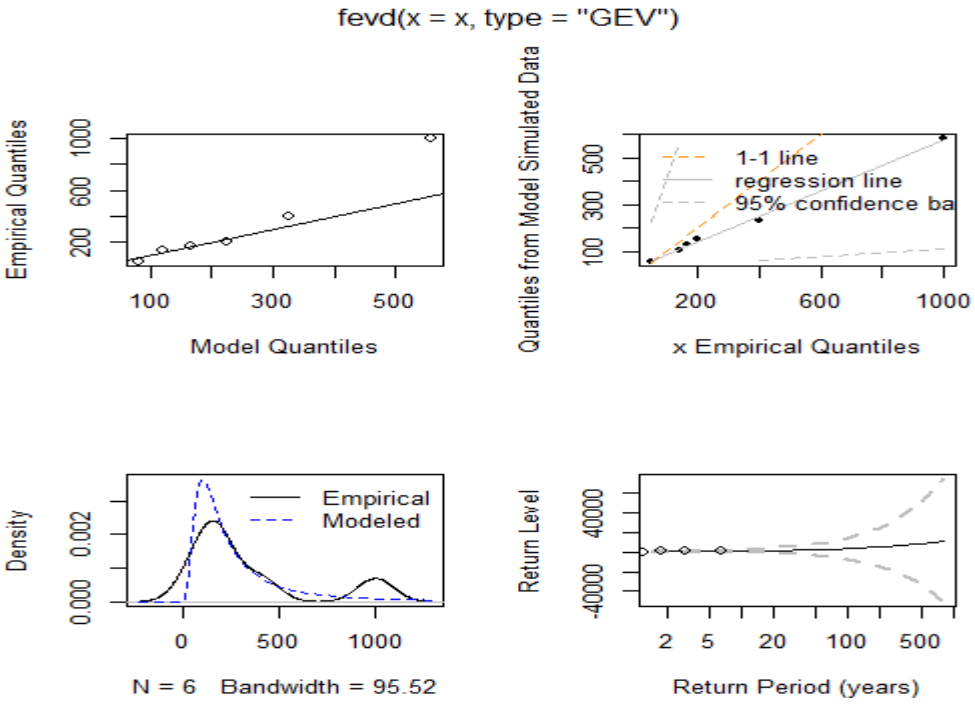
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 40.27773

Estimated parameters:
location scale shape
144.5950815 117.4780943 0.6159719

Standard Error Estimates:
location scale shape
57.8523729 58.0478011 0.5255448

Estimated parameter covariance matrix.
location scale shape
location 3346.89705 2650.3185698 -11.1488451
scale 2650.31857 3369.5472143 -0.5124242
shape -11.14885 -0.5124242 0.2761974

AIC = 86.55547
BIC = 85.93074

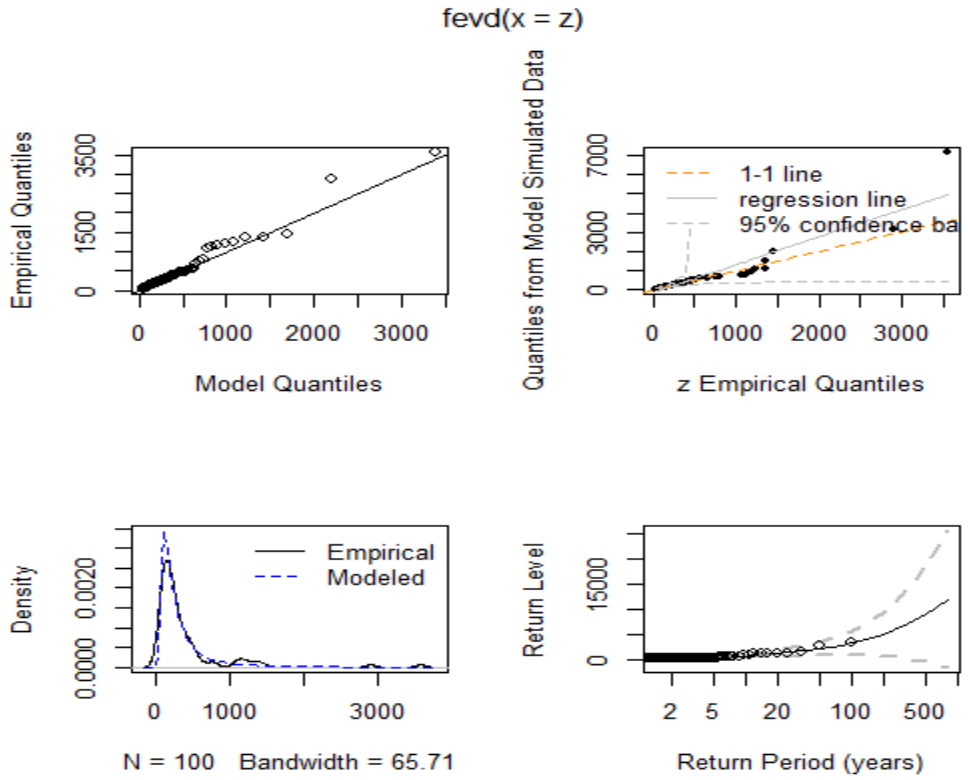


Simulation
> z=rextRemes(fitt,100)
> fitz=fevd(z)
> summary(fitz)
fevd(x = z)
[1] "Estimation Method used: MLE"
Negative Log-Likelihood Value: 672.4251

Estimated parameters:
location scale shape
Standard Error Estimates: 170.7816007 125.1212188 0.6104882
location scale shape
14.312095 15.157367 0.104528

Estimated parameter covariance matrix.
location scale shape
location 204.836068 169.5732507 -0.25031704
scale 169.573251 229.7457848 0.38231742
shape -0.250317 0.3823174 0.01092611

AIC = 1350.85
BIC = 1358.666



كود *R* برنامج لتقدير قيمة سند الكوارث

أولا: تقدير قيمة السند لفترة واحدة – بدون كوبون

```
> T<-1              # time period
> m<-100000     # simulation times
> premium<-0.03   # the extra risk premium
> Int<-0.0012      # risk -free interest rate
> Infl<-0.056     # inflation rate
> r1<-rep (0.037, m)    # LIBOR rate
> K=1000        # face value of the CAT bond
> Loss<-revd(m, loc = 144.5950815 , scale= 117.4780943 , shape =0.6159719)
> C=rep (NA,m)
> f =rep (NA,m)
> g=rep (NA,m)
> h=rep (NA,m)
> p=rep (NA,m)
> q=rep (NA,m)
> s=rep (NA,m)
> for(i in 1:m)
+ {
+ if(Loss[i] <=400)
+ C[ i ]=K
+ {
+ if (Loss [ i ] <= 1000&& Loss [ i ] >400)
+ C[ i ]=K*0.5
+ {
+ if (Loss [ i ] >1000)
+ C[ i ]=K*0.25}
+ }}
> discount<-(1+ Infl)*(1+ premium+ Int)
> P<-C/ discount
> mean (P)
[1] 803.1657
```

ثانيا: تقدير قيمة السند لفترة واحدة – بكوبون فوائد

```
#with coupon
> for(i in 1:m)
+ {
+ if(Loss [ i ] < 100)
+ C[ i ]=K*(1+0.12)
+ {
+ if(Loss [ i ] < 200 && Loss [ i ] >=100)
+ C[ i ]= K*(1+0.10)
+ {
+ if (Loss [ i ] < 400&& Loss [ i ] >=200)
+ C[ i ]=K
+ {
+ if(Loss [ i ] < 600&& Loss [ i ] >=400)
```

```
+ C[ i ]=K*0.8
+ {
+ if(Loss [ i ] < 800&& Loss [ i ] >=600)
+ C[ i ]=K*0.55
+ {
+ if(Loss [ i ] >=800)
+ C[ i ]= 0}
+ }}}}}
> discount<-(1+ Infl)*(1+ premium+ Int)
>  P<-C/ discount
>  mean (P)
[1] 855.5456
```

ثالثا: تقدير قيمة السند لفترات متعددة – بدون كوبون

```
> T<-3 # time period
>  m<-100000 # simulation times
>  premium<-0.03 # the extra risk premium
>  K=1000 # face value of the CAT bond
>  C=matrix ( 0 , T , m) # value of pay off function
>  f =matrix ( 0 , T , m)
>  g=matrix ( 0 , T , m)
>  h=matrix ( 0 , T , m)

## LIBOR rate
> alpha = +0.212421
> mu=+1.084655
> sigma = +0.420791
> delta<-1
>  r<-matrix (NA, T , m)
>  r [ 1 , ]<-1.12 # initial value
>  for ( i in 1 : ( T-1) )
+ {
+ r [ i +1, ]<-r [ i , ]
+ for (days in 1:250)
+ {
+ e <-rnorm(m, mean=0 , sd= sqrt (delta))
+ for( j in 1:m)
+ {
+ r[ i+1, j ] <- r [i+1, j]+alpha*(mu-r [ i +1 , j ] )*delta+sigma*sqrt(r [i+1,
j])*e[j]+days-days
+ if(r[i+1, j ]<0)
+ r[i+1 , j ]<- r [ 1 , j ] + alpha*(mu-r [ 1, j ] )*delta
+ r[1, j]<-r [i +1, j ]
+ }}}
> r[1, ]<-1.12
> rt<-r /100
> # interest rate
> ar<--0.2833
```

```
> ma<-1
> const<--0.0976
> Int<-matrix (NA, T+2 ,m)
> e <-matrix (NA, T ,m)
> Int[1, ]<-0.29
> Int[2 , ]<-0.12
> for(j in 1:T)
+ {e[ j , ]<-rnorm(m)
+ for(i in 1:m)
+ {
+ Int[j+2, i]<- Int[j +1, i ]+ar*Int[j +1, i]-ar*Int[j, i ]+ma*e[j, i]-const
+ if(Int[j+2, i]<0)
+ Int[j +2, i ]<- Int[j+1, i]+ ar*Int[j +1, i]-ar*Int [ j, i ]
+ }
+ }
> Int<-Int/100
> Int<-rbind(Int[2:(T+2), ])
> # inflation rate
> e<- matrix (NA, T, m)
> Infl<-matrix (NA, T+1,m)
> Infl[1, ]<-3.16
> for(i in 1:T)
+ { e [ i , ]<-rnorm(m)
+ Infl[i+1, ]<-0.8899+0.7867 *Infl[i, ] + e [i , ]
+ for(j in 1:m)
+ {
+ if (Infl[i +1 , j ]<0)
+ Infl[i +1, j ]<-0.8899+0.7867 * Infl[i, j ]
+ }}
> Infl<-Infl/100
> Infl<-rbind (Infl[1:(T+1), ] )

#Total Loss
for (j in 1:(T-1) )
+ {
+ for (i in 1:m)
+ {
+ if(Loss[ j , i]<=400)
+ C[ j , i ]=K
+ {
+ if (Loss [ j , i]<= 1000&& Loss [ i ] >400)
+ C[ j , i ]=K*0.5
+ {
+ if (Loss [ j , i]>1000)
+ C[ j , i ]=K*0.25}
+ }}}
> discount =matrix (NA, T ,m)
> discount[1 , ]<-(1+ Int[1, ] + premium )*(1+Infl[1, ] )
```

```
> for (i in 1:(T-1))
+ {
+ for (j in 1:m)
+{discount[i+1, j]<-discount[i, j ]*(1+ Int[i+1, j ]+ premium)*(1+Infl[i+1, j])
+ } }
> P<-colSums(C/discount)
> mean (P)
[1] 1315.514
```

رابعاً: تقدير قيمة السند لفترات متعددة – بكوبون فوائد

```
> for (j in 1:(T-1) )
+ {
+ for (i in 1:m)
+ {
+ if(Loss [ j , i] <100 )
+ C[ j ,i ]=K* (1+ f [ j , i ] )
+ {
+ if(Loss [ j , i ] < 200&& Loss [ j, i ] >=100)
+ C[ j , i ]=K* (1+ g [ j , i ] )
+ {
+ if (Loss [ j , i] < 400&& Loss [ j, i ] >=200)
+ C[ j , i ]=K* (0+ h [ j , i ] )
+ {
+ if(Loss [ j , i]  < 600&& Loss [ j, i ] >=400)
+ C[ j , i ]=K*0.8
+ {
+ if(Loss [ j , i]  < 800&& Loss [ j, i ] >=600)
+ C[ j , i ]=K*0.55
+ {
+ if(Loss [ j , i]  >800)
+ C[ j , i ]=0}
+ }}}}}}
> discount =matrix (NA, T ,m)
> discount[1 , ]<-(1+ Int[1, ] + premium )*(1+Infl[1, ] )
> for (i in 1:(T-1))
+ {
+ for (j in 1:m)
+  {discount[i+1, j]<-discount[i, j ]*(1+ Int[i+1, j ]+ premium)*(1+Infl[i+1, j])
+ } }
> P<-colSums(C/discount)
> mean (P)
[1] 1117.095
```