

Evaluarea și analiza unui set de indici de securitate cibernetică utilizând metode multi-criteriale

Constanța Zoie RĂDULESCU, Adrian-Victor VEVERA, Ionuț-Eugen SANDU

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București, România

zoie.radulescu@ici.ro, victor.vevera@ici.ro, ionut.sandu@ici.ro

Rezumat: La nivel internațional, au fost dezvoltate mai multe metodologii și indici pentru a măsura și a evalua maturitatea securității cibernetică a țărilor din diferite perspective. Unul dintre acești indici este Cyber Safety Score (CSS). Acesta este un indice compus care se calculează ca medie aritmetică a valorilor procentuale a trei indici importanți de securitate cibernetică: National Cyber Security Index (NCSI), Global Cyber Security Index (GCI) și Cyber Security Exposure Index (CEI). Pe baza valorilor indicelui CSS a fost creat un clasament al țărilor cu scopul de a se evidenția cele zece țări care sunt cele mai puțin, respectiv, cele mai riscante din punct de vedere al securității cibernetică. Problema realizării unui indice compus din cei trei indici de securitate cibernetică poate fi privită însă ca o problemă de analiză multi-criterială care se poate rezolva cu ajutorul metodelor multi-criteriale. Acest tip de metode oferă semnificativ mai multe avantaje față de simpla utilizare a mediei aritmetice. Considerând acest aspect, în acest articol au fost utilizate în paralel metodele multi-criteriale TOPSIS, VIKOR și COPRAS pentru a se obține o ordonare a țărilor, ținând cont de aceiași indici de securitate considerați de indicele CSS. Ordinea obținută cu fiecare metodă multi-criterială se analizează comparativ cu ordinea obținută de Cyber Safety Score.

Cuvinte cheie: metode multi-criteriale, securitate cibernetică, VIKOR, TOPSIS, COPRAS, Cyber Safety Score.

Evaluation and analysis of a set of cyber security indices using multi-criteria methods

Abstract: Internationally, several methodologies and indices have been developed to measure and evaluate the cybersecurity maturity of countries from different perspectives. One of these indices is the Cyber Safety Score (CSS). CSS is a composite index that is calculated as the arithmetic mean of the percentage values of three important cyber security indices: National Cyber Security Index (NCSI), Global Cyber Security Index (GCI) and Cyber Security Exposure Index (CEI). Based on the values of the CSS index, a ranking of countries was created with the aim of highlighting the ten countries that are the least, respectively, the most risky from the point of view of cyber security. The problem of creating an index composed of the three cyber security indexes can be seen as a multi-criteria analysis problem that can be solved with the help of multi-criteria methods. This type of method offers significantly more advantages over simply using the arithmetic mean. Considering this aspect, in this paper, the multi-criteria methods TOPSIS, VIKOR and COPRAS were used in parallel to obtain an ordering of the countries taking into account the same security indices considered by the index CSS. The order obtained with each multi-criteria method is analyzed compared to the order obtained by the Cyber Safety Score.

Keywords: Multi-criteria methods, Cyber security, VIKOR, TOPSIS, COPRAS, Cyber Safety Score.

1. Introducere

Strategia globală modernă a dezvoltării sociale este determinată de ideea generală de transformare digitală a tuturor sferelor vieții de zi cu zi (Jaipong et al., 2023). Utilizarea spațiului cibernetic la toate nivelurile, pe scară largă, cu un acces sigur și continuu la acesta a câștigat în ultimii ani o importanță deosebită. Securitatea cibernetică este considerată o componentă crucială în realizarea progresului socio-economic și a devenit o preocupare majoră în politicile naționale (Dumitrache & Sandu, 2022; Gheorghiu et al., 2023). Necesitatea de a cuantifica performanța securității cibernetică este determinată de factori organizaționali, financiari și de reglementare. La nivel internațional, au fost dezvoltate mai multe metodologii și indici pentru a măsura și a evalua maturitatea securității cibernetică a țărilor din diferite perspective. Indicii de securitate cibernetică pot permite factorilor de decizie să compare nivelul de securitate al unei țări față de alte țări și să acționeze mai eficient pentru întărirea securității cibernetică la nivel național. Unul dintre acești indici este Cyber Safety Score (CSS). CSS este un indice compus care se calculează ca medie aritmetică a valorilor procentuale a trei indici importanți de securitate cibernetică calculați separat,

la nivel internațional, pentru fiecare țară în parte (Fong, 2024). Indicii considerați de Cyber Safety Score sunt: National Cyber Security Index - NCSI (e-Governance Academy, 2024), Global Cyber Security Index - GCI (ITU, 2024) și Cyber Security Exposure Index 2020 - CEI (Cyber Intelligence House, 2024). NCSI măsoară gradul de pregătire a țărilor de a preveni și gestiona amenințările cibernetice, GCI măsoară angajamentul țărilor față de securitatea cibernetică la nivel global, iar CEI măsoară modul în care utilizatorii de Internet sunt expuși riscului în fiecare țară. Fiecare dintre cei trei indici de securitate cibernetică se calculează pe an sau pe perioade de timp, ținând cont de mai mulți factori. Combinând valorile exprimate ca procente ale celor trei indici NCSI, GCI și CEI, s-a creat indicele CSS. Metoda de combinare utilizată pentru calculul CSS este media aritmetică. Valorile indicelui CSS au fost ordonate descrescător. S-a creat astfel un clasament global al țărilor cu scopul de a evidenția cele zece țări care sunt cele mai puțin, respectiv, cele mai riscante din punct de vedere al securității cibernetice.

Problema realizării unui indice compus din cei trei indici de securitate cibernetică poate fi privită însă ca o problemă de analiză multi-criterială în care mulțimea de țări este mulțimea de variante, iar cei trei indici NCSI, GCI și CEI constituie mulțimea criteriilor. Acest tip de problemă se poate rezolva cu ajutorul metodelor multi-criteriale (Vevera et al., 2022a). Folosirea acestor metode oferă mai multe avantaje față de simpla utilizare a mediei aritmetice pentru ordonarea țărilor considerate. Câteva dintre avantajele sunt prezentate în continuare. Metodele multi-criteriale permit factorilor de decizie să ia în considerare în mod explicit importanța (pondera) relativă a fiecărui indice de securitate cibernetică. Indicii utilizați pentru evaluare pot avea unități sau scale diferite, ceea ce face dificilă compararea lor directă. Metodele multi-criteriale oferă un cadru pentru normalizarea și compararea indicilor cu unități necomparabile, permițând o evaluare corectă și consecventă. Ele permit să se ia în considerare în mod explicit compromisurile între diferiți indici și oferă o modalitate sistematică de a analiza și de a încorpora astfel de compromisuri. Cu acest tip de metode se pot gestiona situațiile în care unele informații sau date despre anumite criterii lipsesc sau sunt incerte și pot oferi rezultate mai solide și mai fiabile, chiar și în prezența unor informații incomplete. Metodele multi-criteriale oferă adesea instrumente de vizualizare și tehnici de analiză a sensibilității care ajută la înțelegerea modului în care modificările ponderilor sau valorilor criteriilor influențează ordonarea variantelor.

În abordarea noastră în loc de media aritmetică utilizată pentru calculul unui indice de tip CSS și pentru ordonarea țărilor, se utilizează metode multi-criteriale larg utilizate. Vom considera problema ordonării țărilor ca fiind o problemă de analiză multi-criterială în care mulțimea de variante este mulțimea țărilor, iar mulțimea criteriilor este mulțimea celor trei indici de securitate cibernetică considerați și de indicele CSS. Pentru calculul unui indice compus de securitate cibernetică de tip CSS, dintre metodele multi-criteriale au fost selectate metodele COPRAS - Complex Proportional Assessment Method (Zavadskas et al., 1994), VIKOR - VISeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (Opricovic & Tzeng, 2004) și TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (Hwang & Yoon, 1981). Aceste metode iau în considerare același tip de date de intrare, iar un proces de rezolvare este în general comun. Sunt metode utilizate în analiza deciziei multi-criteriale (Multi Criteria Decision Analysis - MCDA) pentru a ordona variantele dintr-un set de variante și a selecta cea mai bună variantă.

În articol se prezintă simultan și algorithmic cele trei metode multi-criteriale selectate COPRAS, VIKOR și TOPSIS. Se aplică apoi metodele selectate pentru ordonarea țărilor în raport cu cei trei indici de securitate considerați de indicele CSS. Se obține pentru fiecare metodă COPRAS, VIKOR și TOPSIS o ordine a țărilor care se compară cu ordinea țărilor obținută de Cyber Safety Score. Se realizează o analiză de covarianță între rezultatele obținute cu cele trei metode multi-criteriale și metoda aritmetică utilizată de Cyber Safety Score.

Lucrarea este organizată astfel: în secțiunea a doua se prezintă câteva cercetări recente asupra utilizării metodelor multi-criteriale în probleme de securitate cibernetică. Scopul secțiunii a treia este de a prezenta în paralel cele trei metode multi-criteriale utilizate ca alternative pentru calculul unui indicator de tip CSS. În secțiunea a patra se prezintă pe scurt câteva aspecte privind indicii NCSI, GCI și CEE, utilizați în calculul indicelui CSS și a abordării propuse. Apoi în secțiunea a cincea, pentru calculul unui indice de securitate cibernetică de tip CSS, pentru un grup

de 93 de țări, se utilizează în locul mediei aritmetice cele trei metode multi-criteriale COPRAS, TOPSIS și VIKOR. Pentru a analiza soluțiile obținute cu ajutorul metodelor multi-criteriale se calculează covarianța Spearman. În finalul articolului, în secțiunea a șasea se prezintă concluziile.

2. Cercetări recente privind utilizarea analizei multi-criteriale în probleme de securitate cibernetică

Există în literatura de specialitate numeroase cercetări legate de utilizarea analizei multi-criteriale în domeniul securității cibernetică. Câteva dintre cele mai recente astfel de cercetări vor fi prezentate în continuare.

Scopul lucrării (Abdiraman et al., 2023) este legat de îmbunătățirea indicatorilor de securitate a informațiilor utilizând metode multicriteriale de luare a deciziilor (Multi Criteria Decision Making - MCDM). Acest lucru se realizează prin propunerea unor indicatori agregați de securitate a informațiilor și prin evaluarea eficacității rezultate din aplicarea lor. Metricile clasice de securitate a informațiilor constau dintr-o singură dimensiune sau o singură variabilă. În lucrare s-a obținut o valoare totală prin adăugarea a cel puțin două valori diferite și evaluarea ponderilor factorilor care determină importanța lor. Acestea sunt metrici agregate sau metrici multi-criteriale de securitate a informației. Pentru a construi metrici agregate se utilizează metodele multi-criteriale AHP (Analytic Hierarchy Process), WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) și Fuzzy TOPSIS. Sunt calculate ponderile metricilor clasice și sunt propuse trei valori agregate. Pentru a analiza îmbunătățirea indiciilor de securitate a informațiilor, se efectuează un experiment de verificare, în cadrul căruia sunt comparate valorile metricilor agregate cu valorile metricilor clasice de securitate a informațiilor. Experimentul arată că utilizarea metricilor agregate este mai convenabilă și mai rapidă, iar gradul de inteligibilitate a rezultatelor este mai mare.

Achiziția unui sistem de securitate cibernetică (sau platformă) care oferă protecție totală este vitală pentru protejarea integrității rețelelor de infrastructuri critice. În articolul (Verma et al., 2024) sunt efectuate cercetări pentru elaborarea unui sistem de suport a deciziilor care să fie utilizat de managerii sau practicienii din domeniul securității cibernetică în sectorul energetic pentru a selecta cea mai bună și adecvată platformă pentru protecția împotriva atacurilor cibernetică. Autorii consideră o metodă în trei faze. După ce este realizată o sinteză a literaturii de specialitate, în urma unei consultări a unui grup de experți sunt identificate variantele (platforme de securitate cibernetică) și criteriile de selecție a variantelor. Apoi este elaborat un chestionar pentru a colecta evaluările experților. În a treia fază este propusă o metodă hibridă de tipul Best-Worst pentru evaluarea variantelor de platforme de securitate cibernetică. Metoda de ordonare multi-criterială propusă (BWM-I și COBRA) se bazează pe o distanță comprehensivă. Ca rezultat al studiului au fost identificate patru variante: Platforme bazate pe cloud, Platforme bazate pe web, Platforme bazate pe aplicații și Platforme bazate pe inteligența artificială. De asemenea au fost identificate 6 criterii principale și 15 criterii secundare.

În articolul (AbdelMouty & Abdel-Monem, 2023) este propusă o evaluare a riscului de siguranță a rețelelor de comunicații ale tehnologiilor de gestionare și control a energiei bazate pe metoda evaluării neutrosifice. În cadrul metodei este considerată distanța față de soluția medie (EDAS). Metoda neutrosifică EDAS este utilizată pentru a ordona și evalua riscurile de securitate într-un sistem energetic.

În articolul (DeCastro-García et al., 2022) este prezentat un sistem suport de decizie pentru evaluarea calității datelor de securitate cibernetică care integrează tehnici de luare a deciziilor bazate pe criterii multiple. Aceste metode permit ordonarea surselor de date în funcție de calitatea informațiilor pe care le furnizează. Prima metodă este bine-cunoscuta metodă a sumei ponderate. Deoarece evaluarea surselor de date de securitate cibernetică trebuie să fie flexibilă la politicile instituției, a fost realizată o adaptare a metodei de decizie multi-criterială AHP. Pentru a măsura concordanța dintre ordonările obținute a fost folosit coeficientul Goodman-Kruskal. A fost realizat un studiu prin care au fost evaluate datele colectate din 27 de surse de date de securitate cibernetică. Au fost luate în considerare 55 de tipuri de evenimente de securitate cibernetică.

Pentru a răspunde provocărilor de securitate cibernetică, organizațiile elaborează simulări de

atacuri cibernetice. În urma acestor simulări, analiștii generează un plan de acțiune și recomandări care trebuie urmate. Cu toate acestea, aceste planuri de acțiune sunt rezultatul cunoștințelor tacite ale specialiștilor. Pe această temă, în lucrarea (Horta et al., 2022) este propusă o metodă formală și automată pentru generarea de planuri de acțiune prioritare pentru îmbunătățirea vizibilității mediului. Metoda propusă aici este demonstrată printr-un experiment, în care rezultatele au fost consistente și utile pentru scenariul care a fost testat.

Lucrarea (Bhol et al., 2023) propune o clasificare a matricilor de securitate cibernetică, împreună cu instrumente pentru luarea deciziilor multi-criteriale ce pot fi utilizate în evaluarea nivelului securității cibernetice.

În articolul (Zulherry, 2023) se descrie aplicarea metodei Simple Additive Weighting (SAW) ca instrument de sprijin în contextul procesului decizional pentru securitatea unei rețele. În studiul de caz prezentat sunt evaluate trei soluții de securitate a rețelei în raport cu patru criterii importante: nivelul de criptare a datelor, detectarea amenințărilor, gestionarea accesului și performanța rețelei. Metoda SAW este folosită pentru a atribui ponderi fiecărui criteriu și pentru a genera un clasament al soluțiilor. Concluzia acestei cercetări este faptul că metoda SAW poate fi folosită ca un instrument util în luarea unor decizii informate în contextul securității unei rețele.

Un model multi-criterial de luare a deciziilor bazat VIKOR și TOPSIS pentru mulțimi fuzzy pitagoreene este propus în articolul (Madhavi et al., 2023) pentru a contracara impactul atacurilor de epuizare a resurselor și pentru a îmbunătăți calitatea serviciului (QoS) în rețea. Acest model gestionează incertitudinea informațiilor schimbate în rețea în timpul procesului de rutare a datelor prin mulțimi Pythagore Fuzzy. Rezultatele experimentale ale modelului au confirmat un randament mai bun de 21,29%, de livrare a pachetelor cu 22,38%, consum de energie mai mic cu 18,92% și o întârziere end-to-end redusă cu 21,84%, comparativ cu strategii comparative.

Sistemele de control industrial (ICS) sunt utilizate pe scară largă în diverse domenii, iar problemele de securitate a informațiilor ale ICS sunt din ce în ce mai importante. Lucrarea (Xu & Lin, 2023) introduce mulțimi probabilistice de termeni lingvistici pentru a modela informațiile de evaluare ale experților. Se propune o metodă probabilistică lingvistică multi-criterială pentru a rezolva problema de evaluare a securității informațiilor a ICS. Se utilizează metoda Best Worst Method (BWM) și metoda Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation (CRITIC) pentru a obține ponderile subiective și ponderile obiective, care sunt utilizate pentru a obține ponderile combinate ale criteriilor. Se îmbunătățește metoda lingvistică probabilistică Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) și se aplică metoda propusă pentru a rezolva problema de evaluare a securității informațiilor a ICS. Se compară rezultatul metodei propuse cu rezultatul metodei lingvistice probabilistică TODIM și cu rezultatul metodei lingvistice probabilistică TOPSIS. Studiul de caz arată că metoda propusă poate oferi rezultate de ordonare mai bune.

Varietatea mare a produselor și serviciilor de Cyber Threat Intelligence oferite de diferiți furnizori de pe piață, face dificil procesul de selecție pentru decidenții în securitate. Ei trebuie să decidă care furnizor este cel mai potrivit în funcție de cerințele specifice de securitate. În articolul (Veveřa et al., 2022b) se propune o abordare multi-criterială bazată pe metoda VIKOR pentru clasarea și selecția furnizorilor de produse și servicii Cyber Threat Intelligence, în funcție de un set de criterii. Este studiată o aplicare a abordării multi-criteriale propuse pentru selecția de produse și servicii de Cyber Threat Intelligence bazată pe evaluările utilizatorilor unor astfel de produse.

Aceste cercetări arată că analiza multi-criterială a fost utilizată recent în diverse probleme de securitate cibernetică. După cunoașterea noastră însă, subiecte legate de utilizarea metodelor multi-criteriale pentru calculul unui indicator de tip Cyber Safety Score nu au fost abordate în literatura de specialitate.

3. Metodele VIKOR, TOPSIS și COPRAS

VIKOR este o metodă care își propune să găsească o soluție atunci când există un compromis între criterii conflictuale. Se ia în considerare atât „utilitatea maximă a grupului”, cât și „regretul individual” pentru a ordona variantele. VIKOR ajută la identificarea variantelor care ating un echilibru între diferite criterii.

TOPSIS este o metodă folosită pentru a determina cea mai bună variantă prin compararea similitudinii fiecărei variante cu soluția ideală pozitivă și negativă. Se calculează distanța dintre fiecare evaluare a unei variante și soluția ideală pozitivă și negativă pe baza criteriilor luate în considerare. Varianta care are valoarea cea mai apropiată de soluția ideală pozitivă și cea mai îndepărtată de cea negativă este considerată cea mai bună.

COPRAS este o metodă care ia în considerare interdependența dintre criterii și variante. Ea utilizează o abordare complexă bazată pe o evaluare proporțională pentru a ordona variantele.

Metoda TOPSIS a fost aleasă pentru capacitatea sa de a lua în considerare atât pe cea mai bună, cât și pe cea mai proastă soluție, oferind un clasament cuprinzător. Metoda VIKOR a fost aleasă pentru a lua în considerare o soluție de compromis iar metoda COPRAS a fost aleasă pentru capacitatea sa de a gestiona efectele de interdependență și feedback între criterii. Algoritmii COPRAS, VIKOR și TOPSIS sunt considerați a fi printre cei mai versatili algoritmi care pot fi implementați folosind orice tip de computer.

Vom descrie, în paralel, pașii celor trei metode multi-criteriale selectate: VIKOR, TOPSIS și CORAS.

Pasul 1. Date de intrare.

Se selectează mulțimea celor m variante $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ și mulțimea celor n criterii $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$. Se stabilesc ponderile criteriilor, elementele vectorului $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Acestea au valori numerice în intervalul $(0;1)$ și trebuie să îndeplinească condiția $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Ponderele w_j arată importanța criteriului C_j .

Se construiește matricea de evaluare $E = (e_{ij}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$. Elementul e_{ij} arată evaluarea variantei V_i pentru criteriul C_j .

Pasul 2. Normalizare și ponderare.

Normalizarea matricii de evaluare E este realizată pentru a se aduce elementele matricii în intervalul $[0;1]$ și pentru a se transforma evaluările pentru criteriile de minim în evaluări pentru criterii de maxim. Toate metodele considerate pleacă de la matricea de evaluare E și de la vectorul ponderilor W .

Pentru metoda VIKOR se calculează matricea de evaluare normalizată $\overline{E^V} = (\overline{e_{ij}^V}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ prin metoda de normalizare "max-min". Sunt calculate e_j^{\max} și e_j^{\min} astfel:

$$e_j^{\max} = \begin{cases} \max_i e_{ij} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de maxim} \\ \min_i e_{ij} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de minim} \end{cases} \quad e_j^{\min} = \begin{cases} \min_i e_{ij} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de maxim} \\ \max_i e_{ij} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de minim} \end{cases}$$

Apoi sunt calculate elementele matricii normalizate: $\overline{e_{ij}^V} = \frac{e_{ij}^{\max} - e_{ij}}{e_j^{\max} - e_j^{\min}}$.

Este calculată matricea normalizată ponderată $\overline{\overline{E^V}} = (\overline{\overline{e_{ij}^V}})$ unde $\overline{\overline{e_{ij}^V}} = w_j \times \overline{e_{ij}^V}$.

Pentru metoda TOPSIS se calculează matricea de evaluare normalizată $\overline{E^T} = (\overline{e_{ij}^T}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ prin metoda de normalizare vectorială. Se consideră păstrarea tipului criteriului în această etapă pentru a fi utilizat ulterior. Pentru a păstra tipul criteriului este

utilizată numai normalizarea vectorială pentru criteriul de maxim: $\overline{e_{ij}^T} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (e_{kj})^2}}$. Se calculează

matricea normalizată ponderată $\overline{E^T} = \left(\overline{e_{ij}^T} \right)$ unde $\overline{e_{ij}^T} = w_j \times \overline{e_{ij}^T}$.

Pentru metoda COPRAS se calculează matricea de evaluare normalizată $\overline{E^C} = \left(\overline{e_{ij}^C} \right), i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ prin metoda de normalizare "sum". Pentru că ulterior, în metoda COPRAS, este considerat tipul unui criteriu, pentru a păstra tipul criteriului este utilizată numai normalizarea pentru criteriul de maxim: $\overline{e_{ij}^C} = \frac{e_{ij}}{\sum_{k=1}^m (e_{kj})}$. Se calculează matricea normalizată

ponderată $\overline{E^C} = \left(\overline{e_{ij}^C} \right)$ unde $\overline{e_{ij}^C} = w_j \times \overline{e_{ij}^C}$.

Pasul 3. Calculul distanțelor, importanței și gradului de utilitate. Pentru metoda VIKOR se calculează elementele vectorilor $Q = (q_i)$ unde $q_i = \sum_{j=1}^n \overline{e_{ij}^V}$ și $S = (s_i)$ unde $s_i = \max_{1 \leq j \leq n} \left\{ \overline{e_{ij}^V} \right\}$. Elementul q_i reprezintă beneficiul total de grup, iar elementul s_i reprezintă deviația individuală pentru varianta V_i .

Metoda TOPSIS utilizează distanța Euclidiană. Sunt calculate soluțiile ideale pozitivă și negativă $A^+ = (a_j^+)$ și $A^- = (a_j^-)$ după cum urmează:

$$a_j^+ = \begin{cases} \max_i \overline{e_{ij}^T} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de maxim} \\ \min_i \overline{e_{ij}^T} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de minim} \end{cases}; \quad a_j^- = \begin{cases} \min_i \overline{e_{ij}^T} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de maxim} \\ \max_i \overline{e_{ij}^T} & \text{daca } C_j \text{ este criteriu de minim} \end{cases}$$

Pentru fiecare $i = 1, 2, \dots, m$ vectorii distanțelor Euclidiene $D^+ = (d_i^+)$ și $D^- = (d_i^-)$ sunt calculați, în raport cu soluțiile ideale pozitivă și negativă:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left| \overline{e_{ij}^T} - a_j^+ \right|^2} \quad \text{și} \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left| \overline{e_{ij}^T} - a_j^- \right|^2} \quad (1)$$

Pentru metoda COPRAS sunt considerate următoarele mulțimi:

$$M^1 = \{j | j \in \{1, 2, \dots, n\}; \text{ pentru criteriul de maxim } C_j\}$$

$$M^2 = \{j | j \in \{1, 2, \dots, n\}; \text{ pentru criteriul de minim } C_j\}$$

Sunt calculați apoi vectorul cu indici de maximizare $G^+ = (g_i^+)$ pentru criteriile de maxim din mulțimea M^1 și vectorul cu indici de minimizare $G^- = (g_i^-)$ pentru criteriile de minim din mulțimea M^2 . Elementele acestor vectori se calculează astfel:

$$g_i^+ = \sum_{j \in M^1} \overline{e_{ij}^C} \quad \text{și} \quad g_i^- = \sum_{j \in M^2} \overline{e_{ij}^C} \quad (2)$$

Pentru fiecare $i = 1, 2, \dots, m$, se calculează p_i , valoarea de semnificație relativă (Relative Significance Value) astfel:

$$P_i = g_i^+ + \frac{\sum_{k=1}^m g_k^-}{g_i^- \times \sum_{k=1}^m \frac{1}{g_k^-}} \quad (3)$$

Pasul 4. Calculul ordinii variantelor.

Pentru metoda VIKOR se calculează: $q^{\min} = \min_i q_i$; $q^{\max} = \max_i q_i$; $s^{\min} = \min_i s_i$; $s^{\max} = \max_i s_i$.

Se alege valoarea parametrului $\nu \in [0;1]$. Alegerea acestui parametru arată balanța dintre beneficiul global și deviația maximă individuală. Cu cât este mai mare valoarea parametrului ν , cu atât se evidențiază mai mult dominația grupului în timp ce o valoare mică a acestui parametru arată deviația individuală. Cazul $\nu > 0.5$ este numit votare majoritară "Majority voting". Cazul $\nu = 0.5$ este numit de consens "by consensus" iar cazul $\nu < 0.5$ este numit cu veto "with veto".

Elementele vectorului $R^V = (r_i^V)$ sunt calculate astfel:

$$r_i^V = \nu \frac{q_i - q^{\min}}{q^{\max} - q^{\min}} + (1 - \nu) \frac{s_i - s^{\min}}{s^{\max} - s^{\min}} \quad (4)$$

Pentru obținerea ordonării variantelor, elementele vectorilor R^V , Q și S sunt ordonate în ordine ascendentă. Fie α, β, γ permutările mulțimii $\{1, 2, \dots, m\}$ astfel încât:

$$r_{\alpha(1)}^V \leq r_{\alpha(2)}^V \leq \dots \leq r_{\alpha(m)}^V ; q_{\beta(1)} \leq q_{\beta(2)} \leq \dots \leq q_{\beta(m)} ; s_{\gamma(1)} \leq s_{\gamma(2)} \leq \dots \leq s_{\gamma(m)}$$

Varianta $V_{\alpha(1)}$ este cea mai bine plasată în această ordine (ce corespunde cu valoarea minimă a elementelor vectorului R^V) dacă două condiții sunt îndeplinite (în metoda VIKOR):

Condiția 1. „Avantaj acceptabil”: $r_{\alpha(2)}^V - r_{\alpha(1)}^V \geq \frac{1}{m-1}$ unde varianta $V_{\alpha(2)}$ este varianta plasată pe al doilea loc în lista ordonată a elementelor vectorului R^V .

Condiția 2. „Stabilitate acceptabilă în luarea deciziei ”: Varianta $V_{\alpha(1)}$ trebuie de asemenea să fie cel mai bine plasată în lista elementelor vectorului Q sau S , adică, $\alpha(1) = \beta(1)$ sau $\alpha(1) = \gamma(1)$.

Dacă una dintre cele două condiții de mai sus nu este îndeplinită, atunci este propusă o soluție de compromis:

- Variantele $V_{\alpha(1)}$ și $V_{\alpha(1)}$ sunt cele mai bune dacă numai condiția 2 nu este îndeplinită sau,
- Variantele $V_{\alpha(1)}, V_{\alpha(2)}, \dots, V_{\alpha(k)}$ sunt cele mai bune dacă condiția 1 nu este îndeplinită și

$$r_{\alpha(i)}^V - r_{\alpha(1)}^V \leq \frac{1}{m-1} \text{ pentru fiecare } i=1, 2, \dots, k \text{ și } r_{\alpha(k+1)}^V - r_{\alpha(1)}^V > \frac{1}{m-1} .$$

Pentru metoda TOPSIS se calculează elementele vectorului $R^T = (r_i^T)$ astfel:

$$r_i^T = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (5)$$

Pentru metoda COPRAS elementele vectorului $R^C = (r_i^C)$ sunt calculate astfel:

$$r_i^C = \frac{P_i}{\max_k p_k} \quad (6)$$

Cea mai bună variantă corespunzător metodei TOPSIS, respectiv metodei COPRAS, este varianta ce corespunde elementului cu cea mai mare valoare din vectorul R^T (respectiv din

vectorul R^C). Cea mai bună variantă corespunzător metodei VIKOR este varianta ce corespunde elementului cu cea mai mică valoare din vectorul R^V .

Pentru a obține ordonarea variantelor, elementele vectorului R^T (respectiv R^C) sunt ordonate în ordine descendentă. Pentru metoda VIKOR elementele vectorului R^V sunt ordonate în ordine ascendentă.

4. Indici de securitate cibernetică utilizați de Cyber Safety Score

Indicele de securitate cibernetică Cyber Safety Score se calculează pe baza a trei indici importanți de securitate cibernetică. Aceștia sunt: Cyber Security Exposure Index (CEI), National Cyber Security Index (NCSI) și Global Cyber Security Index (GCI). Indicii CEI, NCSI și GCI sunt indici utilizați pentru a evalua pregătirea și capacitățile securității cibernetică, dar se concentrează pe diferite aspecte și utilizează metodologii diferite.

Indicele CEI se concentrează pe evaluarea nivelului de expunere la securitatea cibernetică a țărilor sau regiunilor. Evaluează factori precum conexiunea la Internet, ratele de infectare cu programe malware, incidente de atac cibernetic, măsurile de protecție a datelor, mediul de reglementare și capacitățile de răspuns la incidente. CEI oferă perspective asupra poziției generale de securitate cibernetică a unei anumite zone, ajutând părțile interesate să înțeleagă și să abordeze riscurile și vulnerabilitățile securității cibernetică. Un scor mai mare CEI indică un nivel mai ridicat de expunere (Meleshenko, 2024).

NCSI evaluează capacitățile de securitate cibernetică ale țărilor pe diferite dimensiuni, inclusiv cadre juridice, măsuri tehnice, capacități organizaționale, consolidare a capacităților și cooperare. Acest indice își propune să ofere o imagine cuprinzătoare asupra angajamentului unei țări față de securitatea cibernetică și a pregătirii acesteia de a aborda amenințările și provocările cibernetică. NCSI măsoară gradul de pregătire a țărilor pentru prevenirea și gestionarea amenințărilor cibernetică, oferind o evaluare cuprinzătoare a capacităților lor de securitate cibernetică.

GCI evaluează țările pe baza a cinci piloni: juridic, tehnic, organizațional, consolidare a capacităților și cooperare. Evaluează factori precum politicile și strategiile de securitate cibernetică, legislația și reglementările, infrastructura de securitate cibernetică, programele de educație și formare și cooperarea internațională. GCI își propune să încurajeze țările să își îmbunătățească capacitățile de securitate cibernetică și să ofere perspective asupra tendințelor globale în materie de securitate cibernetică. GCI măsoară angajamentul țărilor față de securitatea cibernetică la nivel global, cu scopul de a crește gradul de conștientizare cu privire la importanța și diferitele dimensiuni ale problemei (European Commission, 2024).

Acești indicatori oferă informații valoroase asupra stării securității cibernetică la nivel național și global, ajutând factorii de decizie, organizațiile și indivizii să ia decizii informate și să prioritizeze eforturile de creștere a securității cibernetică.

5. Aplicarea metodelor multi-criteriale COPRAS, VIKOR și TOPSIS pentru analiza indicelui de securitate cibernetică Cyber Safety Score

Se propune aplicarea metodelor multi-criteriale TOPSIS, VIKOR și COPRAS pentru analiza și evaluarea indicelui de securitate cibernetică Cyber Safety Score (CSS). Evaluarea se realizează pentru un grup de 93 de țări ordonate după indicele CSS. Ordinea reflectă nivelul de securitate cibernetică al unei țări comparativ cu un grup de țări luate în considerare.

Vom urmări pas cu pas algoritmul propus în secțiunea a treia.

Se consideră mulțimea criteriilor ca fiind alcătuită din cei trei indici de securitate cibernetică NCSI, GCI și CEI considerați de Cyber Safety Score ca fiind $C = \{C_1, C_2, C_3\}$ unde $C_1 = \text{NCSI}$, $C_2 = \text{GCI}$, $C_3 = \text{CEI}$. Se consideră ponderi egale pentru criteriile. Vectorul ponderilor este $W = (0.333,$

$0.333, 0.333)$ cu îndeplinirea condiției $\sum_{i=1}^3 w_i = 1$.

Mulțimea alternativelor V este alcătuită dintr-un grup de 93 de țări. Această mulțime este $V = \{V_1, V_2, \dots, V_{93}\}$. Considerăm același set de date ca și cel utilizat pentru calculul indicelui de securitate cibernetică CSS pentru anul 2020. Matricea de evaluare $E = (e_{ij})$ unde $i=1,2, \dots, 93$ iar $j=1,2,3$ este alcătuită din acest set de date. Elementul e_{ij} reprezintă valoarea calculată internațional pentru țara i și indicele j (procentual). Vom prezenta numai primele 15 țări din această matrice, din punctul de vedere al indicelui CSS și a celor trei indici NCSI, GCI și CEI (Tabelul 1). Pe penultima coloană se prezintă indicele CSS calculat ca medie aritmetică a celor trei indici NCSI, CGI și CEI. România nu se află între aceste 15 țări. România are următoarele valori: pentru CSS: 73.23, pentru NCSI: 89.61, pentru GCI: 76.29 iar pentru CEI: 53.80. Conform clasamentului după indicele CSS, cea mai sigură țară din punct de vedere al securității cibernetice este Belgia.

Se realizează ordinea celor 93 de țări în raport cu indicele CSS și corespunzător pentru indicii NCSI, GCI și CEI. Ordinea pentru primele 15 țări este prezentată tot în Tabelul 1. În ordinea după indicele CSS, România este pe locul 35. După indicele NCSI, România este pe locul 6, după indicele GCI este pe locul 59, iar după indicele CEI este pe locul 10.

Tabelul 1. Matricea de evaluare și ordinea după fiecare indice

Nr.crt.	Țări	NCSI	Rang NCSI	GCI	Rang GCI	CEI	Rang CEI	CSS	Rang CSS
1	Belgia	94.81	2	96.25	24	81.00	10	90.69	1
2	Finlanda	85.71	10	95.78	26	89.00	1	90.16	2
3	Spania	88.31	8	98.52	4	79.00	14	88.61	3
4	Danemarca	84.42	11	92.60	34	88.30	2	88.44	4
5	Germania	90.91	5	97.41	16	75.90	18	88.07	5
6	Lituania	93.51	3	97.93	9	70.30	29	87.25	6
7	Franța	84.42	11	97.60	12	77.20	16	86.41	7
8	Suedia	84.42	11	94.55	29	79.00	14	85.99	8
9	Anglia	77.92	20	99.54	2	79.30	12	85.59	9
10	Portugalia	89.61	6	97.32	18	69.70	31	85.54	10
11	Olanda	83.12	14	97.05	20	73.80	22	84.66	11
12	Polonia	87.01	9	93.86	32	71.40	26	84.09	12
13	Luxemburg	66.23	35	97.41	16	87.60	3	83.75	13
14	Norvegia	67.53	31	96.89	21	86.60	5	83.67	14
15	Australia	66.23	35	97.47	15	86.90	4	83.53	15

Se observă că sunt diferențe mari în privința ordinii țărilor în raport cu cei patru indici. Fiecare dintre aceștia reflectă însă securitatea cibernetică din alte puncte de vedere.

Se aplică metodele VIKOR, TOPSIS și COPRAS din abordarea propusă. Matricile normalizate și matricile normalizate ponderate sunt calculate pentru metodele VIKOR, TOPSIS și COPRAS pe baza ecuațiilor de la Pasul 2. Apoi, distanțele, importanța și gradul de utilitate sunt calculate pe baza ecuațiilor de la Pasul 3. În Pasul 4 sunt calculate soluțiile pentru metoda VIKOR pe baza ecuației (4), pentru metoda TOPSIS pe baza ecuației (5) și pentru metoda COPRAS pe baza ecuației (6).

Soluțiile metodelor COPRAS, VIKOR și TOPSIS pentru primele 15 țări (după CSS) sunt prezentate în Tabelul 2. Fiecare metodă combină cei trei indici NCSI, GCI și CEI într-un indicator compus, utilizând un algoritm propriu.

Se realizează apoi ordinea țărilor pentru fiecare metodă în parte, în ordine descendentă pentru metodele COPRAS și TOPSIS și ascendentă pentru metoda VIKOR. Rangurile primelor 15 țări după indicele CSS și corespunzător pentru metodele COPRAS, VIKOR și TOPSIS sunt prezentate în Tabelul 3 și Figura 1. Pe ultima coloană a Tabelului 3 sunt prezentate rangurile după media aritmetică utilizată pentru calculul indicelui CSS.

Tabelul 2. Soluțiile VIKOR, TOPSIS și COPRAS

Nr. crt.	Țări	Soluția după metoda		
		COPRAS	VIKOR	TOPSIS
1	Belgia	1	0	0.9394
2	Finlanda	0.9964	0.021	0.9283
3	Spania	0.9728	0.0257	0.9116
4	Danemarca	0.9789	0.0391	0.914
5	Germania	0.9667	0.0477	0.9003
6	Lituania	0.9549	0.0871	0.8693
7	Franța	0.9471	0.0522	0.885
8	Suedia	0.9456	0.0541	0.8903
9	Anglia	0.9362	0.0996	0.8628
10	Portugalia	0.9352	0.1012	0.8581
11	Olanda	0.9261	0.0816	0.8613
12	Polonia	0.9218	0.099	0.8579
13	Luxemburg	0.9187	0.1861	0.8139
14	Norvegia	0.9181	0.178	0.8195
15	Australia	0.916	0.1874	0.8131

Tabelul 3. Rangurile primelor 15 țări după metodele COPRAS, VIKOR și TOPSIS comparativ cu ordinea CSS

Nr.crt.	Țări	Ordinea după metoda			
		COPRAS	VIKOR	TOPSIS	CSS
1	Belgia	1	1	1	1
2	Finlanda	2	2	2	2
3	Spania	4	3	4	3
4	Danemarca	3	4	3	4
5	Germania	5	5	5	5
6	Lituania	6	10	8	6
7	Franța	7	6	7	7
8	Suedia	8	7	6	8
9	Anglia	9	13	9	9
10	Portugalia	10	14	12	10
11	Olanda	11	8	10	11
12	Polonia	12	12	13	12
13	Luxemburg	13	25	21	13
14	Norvegia	14	24	18	14
15	Australia	15	26	22	15

Se observă din Tabelul 3 și Figura 1 că ordinea celor 15 țări după metodele multi-criteriale COPRAS, VIKOR și TOPSIS diferă față de ordinea obținută de media aritmetică utilizată de CSS. Astfel, cele mai mari diferențe ale ordinii stabilite de metodele multi-criteriale față de metoda CSS sunt: pentru Luxemburg de 12 poziții, Australia de 11 poziții, Norvegia de 10 poziții, Lituania, Anglia și Portugalia de 4 poziții. Ordinea este identică cu CSS pentru Belgia, Finlanda și Germania.

Dacă considerăm toate cele 93 de țări utilizate în analiză, cele mai mari diferențe de poziție ale metodelor multi-criteriale față de metoda mediei aritmetice utilizată de CSS sunt pentru Emiratele Arabe Unite de 17 poziții, Arabia Saudită de 16 poziții și Mauritius de 15 poziții. Poziții egale sunt pentru Ungaria, Zambia, Afganistan și Birmania. Pentru România diferența față de metoda utilizată de CSS este de 2 poziții pentru COPRAS și VIKOR și o poziție pentru TOPSIS.

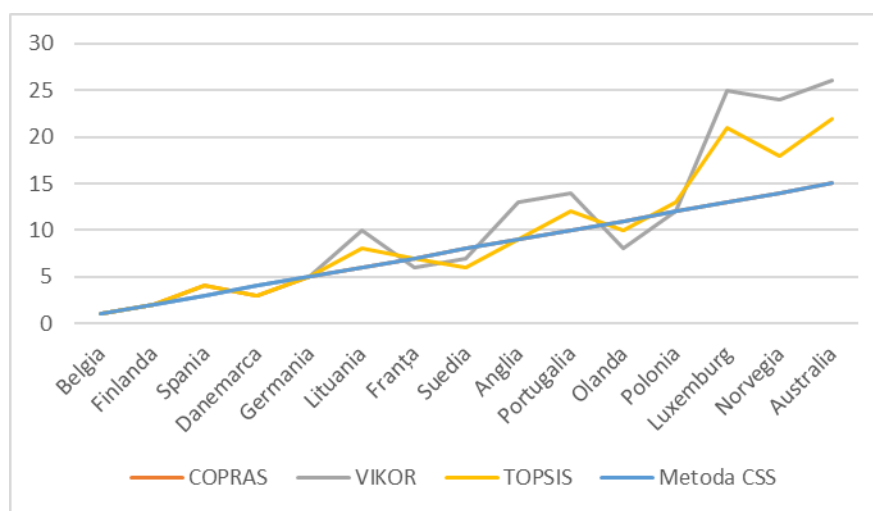


Figura 1. Ordinea țărilor după metodele COPRAS, VIKOR și TOPSIS comparativ cu metoda mediei aritmetice utilizată în calculul CSS

O analiză de covarianță Spearman este realizată între ordinea obținută de cele trei metode multi-criteriale și ordinea obținută de metoda utilizată pentru calculul indicelui CSS (Tabelul 4).

Tabelul 4. Analiza de covarianță Spearman

	COPRAS	VIKOR	TOPSIS	CSS
COPRAS	1	0.935714286	0.978571429	0.996428571
VIKOR	0.935714286	1	0.967857143	0.939285714
TOPSIS	0.978571429	0.967857143	1	0.975
CSS	0.996428571	0.939285714	0.975	1

Din acest tabel se constată că ordinea obținută cu metoda CSS este cea mai apropiată de ordinea obținută cu metoda COPRAS (0.996428571), apoi TOPSIS (0.978571429) și cea mai depărtată de VIKOR (0.935714286).

6. Concluzii

În acest articol au fost propuse trei modalități de calcul, utilizând trei metode multi-criteriale, a unui indice de securitate cibernetică comparabil cu indexul Cyber Safety Score. Metodele multi-criteriale selectate sunt COPRAS, VIKOR și TOPSIS, metode care aduc mai multe avantaje față de media aritmetică utilizată în calculul indicelui CSS. În abordarea multi-criterială sunt utilizați aceiași indici pe care îi utilizează și CSS, adică NCSI, GCI și CEE. Cele trei metode multi-criteriale sunt aplicate comparativ cu metoda mediei aritmetice utilizată pentru calculul indicelui CSS pentru un set de 93 de țări. Este realizată o analiză de covarianță Spearman între ordinea obținută cu fiecare metodă multi-criterială în parte și ordinea obținută cu metoda CSS. Se constată că cea mai apropiată ordine față de ordinea obținută cu metoda CSS este soluția metodei COPRAS.

Securitatea cibernetică este o problemă de o deosebită importanță iar măsurarea cât mai corectă a acesteia și analiza rezultatelor contribuie la o imagine cât mai fidelă a situației securității cibernetice a unei țări, comparativ cu alte țări. Se oferă astfel factorilor de decizie o analiză care să poată conduce la adoptarea de măsuri cât mai eficiente și adecvate pentru creșterea securității cibernetice într-o țară.

Mulțumiri

Cercetarea raportată în această lucrare a fost realizată prin Programul Nucleu din cadrul Planului Național de Cercetare Dezvoltare și Inovare 2022-2027, realizat cu sprijinul Ministerului Cercetării, Inovării și Digitalizării, Proiect nr. 23 38 01 01, „Contribuții la consolidarea tehnologiilor emergente specifice Internetului Obiectelor și sistemelor complexe”.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

AbdelMouty, A.M., & Abdel-Monem, A. (2023) Neutrosophic MCDM Methodology for Assessment Risks of Cyber Security in Power Management. *Neutrosophic Systems with Applications*. 3, 53-61. doi: 10.61356/j.nswa.2023.18.

Abdiraman, A., Goranin, N., Balevicius, S., Nurusheva, A. & Tumasoniene, I. (2023) Application of Multicriteria Methods for Improvement of Information Security Metrics. *Sustainability*. 15 (10), 8114. doi: 10.3390/su15108114.

Bhol, S.G., Mohanty, J.R., & Pattnaik, P.K. (2023) Taxonomy of cyber security metrics to measure strength of cyber security. *Materials Today: Proceedings*. 80, 2274-2279. doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.228.

Cyber Intelligence House (2024) Cyber Security Exposure Index. <https://cyberexposureindex.com/> [Accesat la 7 februarie 2024].

DeCastro-García, N. & Pinto, E. (2022) Measuring the Quality Information of Sources of Cybersecurity by Multi-Criteria Decision Making Techniques. In: García Bringas, P., et al. *Hybrid Artificial Intelligent Systems*. 17th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems (HAIS 2022), September 5–7, 2022, Salamanca, Spain, Springer. pp. 75-87.

Dumitrache, M. & Sandu, I. E. (2020) Securitatea rețelelor și sisteme de comunicații în medii Smart (Network security and communication systems in Smart environments). *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*. 30 (1), 61-70. doi: 10.33436/v30i1y202005.

e-Governance Academy (2024) National Cyber Security Index (NCSI). <https://ncsi.ega.ee/ncsi-index/> [Accesat la 7 februarie 2024].

European Commission (2024) Composite Indicators & Scoreboards Explorer. <https://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu/explorer/explorer/indices/GCI/global-cyber-security-index> [Accesat la 7 februarie 2024].

Fong, J. (2024) Global Cybercrime Report: Countries Most at Risk in 2023?. <https://seon.io/resources/global-cybercrime-report/> [Accesat la 7 februarie 2024].

Gheorghită, A.-C., Smada, D., Vevera, A.-V., Dumitrache, M., Sandu, I.-E. & Rotună, C.-I., (2023) Listele negre și listele albe în cadrul unui sistem de reputație a domeniilor (Blacklists and whitelists in the framework of a domain reputation system). *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*. 33(4), 33-46. doi:10.33436/v33i4y202303.

Horta, A., Holanda, R., & Marinho, R. (2022) A Multi-criteria Approach to Improve the Cyber Security Visibility Through Breach Attack Simulations. În *The Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Information and Computational Systems Security (SBSeg)*, September 12 - 15, 2022, Santa Maria, Brazilia. pp. 330-343. doi: 10.5753/sbseg.2022.224454.

Hwang, C. & Yoon, K. (1981) Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey. New York, Springer.

ITU (2024) Global Cyber Security Index. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Pages/global-cybersecurity-index.aspx> [Accesat la 7 februarie 2024].

Jaipong, P., Siripipattanakul, S., Sriboonruang, P. & Sitthipon, T. (2023) A Review of Metaverse and Cybersecurity in the Digital Era. *International Journal of Computing Sciences Research*. 7, 1125-1132. doi: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.122.

Madhavi, S., Santhosh, N.C., Rajkumar, S. & Praveen, R. (2023) Pythagorean Fuzzy Sets-based VIKOR and TOPSIS-based multi-criteria decision-making model for mitigating resource deletion attacks in WSNs. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 1-19. doi: 10.3233/JIFS-224141.

Meleshenko, K. (2024) Cyber Security Indexes dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/katerynname-leshenko/cyber-security-indexes/data> [Accesat la 7 februarie 2024].

Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2004) Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156(2), 445–455. doi: S0377-2217(03)00020-1.

Verma, R., Koul, S., & Ajaygopal, K. V. (2024) Evaluation and Selection of a Cybersecurity Platform— Case of the Power Sector in India. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 7 (1), 209-236. doi: 10.31181/dmame712024891.

Vevera, A.V., Cîrnu, C.E. & Radulescu, C.Z. (2022a) A Multi-Attribute Approach for Cyber Threat Intelligence Product and Services Selection. *Studies in Informatics and Control*, 31(1), 13-23. doi: 10.24846/v31i1y202202.

Vevera, A.V., Cîrnu, C.E. & Radulescu, C.Z. (2022b) O abordare multi-criterială pentru calculul unui indicator complex de Securitate Cibernetică și Dezvoltare Digitală (A multi-criteria approach for the calculation of a complex indicator of Cyber Security and Digital Development). *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*. 32(4), 19-32. doi:10.33436/v32i4y202202.

Xu, W. & Lin, M. (2023) Information Security Evaluation of Industrial Control Systems Using Probabilistic Linguistic MCDM Method. *Computers, Materials & Continua*. 77(1). doi: 10.32604/cmc.2023.041475.

Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A. & Sarka, V. (1994) The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*. 1, 131–139.

Zulherry, A. (2023) Decision making for network security with simple additive weighting method. *Journal of Intelligent Decision Support System (IDSS)*. 6 (3), 155-159. doi: 10.35335/idss.v6i3.162.



Constanța Zoie RĂDULESCU este cercetător științific gradul I în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. Deține titlul de doctor în matematică. Domeniile sale principale de interes sunt: analiză și decizie multi-criterială, metode multi-atribut și multi-obiectiv, Sisteme Suport de Decizie bazate pe date și modele, managementul riscului, modele matematice în teoria selecției portofoliilor, modelare și simulare. Este autor/coautor a șapte cărți și capitole de carte publicate în edituri recunoscute din țară și străinătate, autor/co-autor a peste 150 de articole publicate în reviste de specialitate și proceedings-uri ale unor conferințe din țară și străinătate. A condus numeroase proiecte de cercetare, teme și granturi de cercetare.

Constanța Zoie RĂDULESCU is Senior Researcher at the National Institute for Research and Development in Informatics - ICI Bucharest. She holds a Ph.D. in Mathematics. The main areas of interest are: multi-criteria analysis and decision, multi-attribute and multi-objective methods, data and model-based decision support systems, risk management, mathematical models in portfolio selection theory, modelling and simulation. She is the author/co-author of seven books and book chapters in recognized publishing houses in the country and abroad, author/co-author of more than 150 articles published in specialized journals and proceedings of conferences in the country and abroad. She has coordinated numerous research projects, themes and research grants.



Adrian-Victor VEVERA este Director General, cercetător științific gradul I și membru în Consiliul Științific al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. Doctor în științe militare și informații, fiind la bază atât jurist cât și inginer specializat în fizică nucleară, deține o vastă experiență în ceea ce înseamnă securitatea națională, ocupând, de-a lungul timpului, numeroase poziții manageriale și de consiliere în diverse organisme ale statului. A publicat numeroase articole și lucrări pe teme de securitate națională și internațională, securitate energetică, criminalitate informatică, protecția infrastructurilor critice și a fost coordonatorul a numeroase proiecte de interes național.

Adrian-Victor VEVERA is the General Director, First Degree Scientific Researcher and member of the Scientific Council of the National Institute for Research and Development in Informatics. Mr. Vevera holds a Ph.D. in military and information sciences, being both a lawyer and a nuclear physics engineer. He has extensive experience in the field of national security, fulfilling various positions, over time, in numerous managerial and counselling positions in different state-run organisations. He has published numerous articles and papers on national and international security issues, energy security, cybercrime, critical infrastructure protection, and has been the coordinator of numerous projects of national interest.



Ionuț-Eugen SANDU este Director Tehnic, cercetător științific gradul II și membru în Consiliul Științific al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. A obținut o diplomă de licență în „Știința Sistemelor și a Calculatoarelor” în anul 2006 și o diplomă de master în „Administrație Publică Electronică” în anul 2007. Din anul 2010 devine cercetător științific la Departamentul de Administrare Domenii .ro din cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București, iar începând cu anul 2015 a devenit Șef Serviciu Tehnic RoTLD. Domeniile sale principale de interes sunt: administrare sisteme, dezvoltare de noi servicii și dezvoltare a infrastructurii de comunicații.

Ionuț-Eugen SANDU is Technical Director of National Institute for Research & Development in Informatics – ICI Bucharest, second degree Scientific Researcher and member of the Scientific Council of the National Institute for Research and Development in Informatics. He obtained a BS in Computer and Systems' Science in 2006 and a Master's Degree in Electronic Public Administration in 2007. From 2010, he became a scientific researcher at the .ro Domain Administration Department within the National Institute for Research and Development in Informatics - ICI Bucharest, and in 2015 he became Head of RoTLD Technical Service. His main areas of interest are: systems administration, development of new services and development of communication infrastructure



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.