

# O abordare multi-criterială pentru selecția produselor software de simulare bazată pe metoda Matter Element

Constanța Zoie RĂDULESCU

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică - ICI București

zoie.radulescu@ici.ro

**Rezumat:** Modelarea și simularea sunt unele dintre cele mai avansate și puternice instrumente pentru analiza performanței operaționale în companii pentru a sprijini adaptarea continuă la nevoile pieței. Există o gamă largă de pachete software de simulare disponibile pe piață. Acestea oferă o varietate de aplicații, au prețuri și caracteristici diferite și folosesc abordări și strategii de modelare diferite. În acest articol se dezvoltă o abordare bazată pe o metodă multi-criterială care să ajute companiile să selecteze un produs software de simulare adecvat nevoilor lor, software care să îmbunătățească productivitatea companiei. Pentru că problema de selectare a unui produs software este o problemă de decizie multi-criterială cu obiective contradictorii vom utiliza pentru rezolvarea acesteia teoria extensiei și metoda Matter-Element (ME). Metoda ME pentru mai multe variante și un singur nivel al criteriilor este prezentată pe pași. Abordarea multi-criterială este aplicată într-un studiu de caz pentru selectarea unui produs software de simulare. Se evaluează 3 variante după 17 criterii care sunt de interes pentru manager. Abordarea oferă o manieră structurată de descriere a problemei ținând cont de criteriile legate de caracteristicile software-ului de simulare. Ponderile asociate criteriilor sunt alese astfel încât să asigure o evaluare corectă a variantelor cu scopul atingerii obiectivelor stabilite.

**Cuvinte cheie:** abordare multi-criterială, metoda Matter Element, teoria extensiei, software de simulare, ponderi.

## A multi-criteria approach for selection of simulation software products based on Matter Element method

**Abstract:** Modeling and simulation are some of the most advanced and powerful tools for analyzing operational performance in companies to support continuous adaptation to market needs. There is a wide range of simulation software packages available on the market. They offer a large variety of applications, have different prices and features and use different modeling approaches and strategies. This article develops a approach based on a multi-criteria method that helps companies select the right simulation software, that will improve the company's productivity. Because the problem of selecting a software product is a multi-criteria decision problem with contradictory objectives, we shall use the extension theory and the Matter-Element (ME) method for solving it. The ME method for several alternatives and a single level of the criteria is presented in steps. The multi-criteria approach is applied for a case study connected with selection of simulation software. Three alternatives are evaluated according to 17 criteria that are of interest to the manager. The approach offers a structured way for describing the problem that takes into account the criteria related to the features of the simulation software. The weights associated with the criteria are chosen in such a way as to ensure a correct evaluation of the alternatives in order to achieve a set of objectives.

**Keywords:** multi-criteria approach, Matter Element method, extension theory, simulation software, weights.

### 1. Introducere

Companiile trebuie să se adapteze continuu la cerințele mereu în schimbare ale piețelor. Modelarea și simularea sunt unele dintre cele mai avansate și puternice instrumente pentru conducerea eficientă a activității companiilor și pentru sprijinirea adaptării continue a acestora la cerințele pieței. Există o gamă largă de pachete software de modelare și simulare disponibile pe piață. Acestea oferă o varietate de aplicații, au prețuri și caracteristici diferite și folosesc abordări și strategii de modelare diferite. Pentru a-și îmbunătăți eficiența companiile sunt interesate să achiziționeze de pe piață pachete software de simulare. Sarcina selectării unui produs software adecvat nevoilor unei companii este foarte dificilă ținând seama de marea varietate de produse software existente pe piață, cât și de condiții legate de resurse financiare. O alegere incorectă a produselor software poate avea consecințe nedorite, cum ar fi pierderi financiare, timpi mai lungi de așteptare, întreruperi ale proiectelor în desfășurare, lipsa resurselor adecvate, etc. Rezultatul

final al unor alegeri nepotrivite ale produselor software este obținerea de către companie a unor performanțe slabe. Prin urmare, este esențială o abordare corespunzătoare a problemei de selecție a produselor software de simulare (Gupta et al., 2010), (Azadeh et al., 2010). Evaluarea, compararea și selecția unor produse software de simulare a fost analizată în lucrările: (Davis & Williams, 1994), (Nikoukaran et al., 1999), (Cochran & Chen, 2005), (Sawant & Mohite, 2011), (Chai et al., 2013) și (Guimarães et al., 2018). Problema de selecție a produselor software este un caz particular al problemei de selecție a furnizorilor în care, pe lângă criteriile de evaluare privind software-ul, intervin și criterii (de credibilitate, reputație, etc.) legate de furnizorul de produse software (Mitan, 2019), (Aramoon & Aramoon, 2019), (Rădulescu & Rădulescu, 2001).

În lucrarea (Johansen et al., 2003) este prezentat un studiu în care au fost analizate 16 industrii. Concluzia studiului a fost că selectarea unui produs software de simulare depinde de tipul potrivit de informații disponibil la momentul potrivit din cadrul organizațiilor. Analiza efectuată a avut în vedere cerințele de implementare cu succes a unui produs software de simulare, care să fie zilnic utilizat în companii.

Lucrarea (Norouzilame & Jackson, 2013) își concentrează atenția pe propunerea unui cadru pentru implementarea cu succes a unui produs software de simulare. Autorii sugerează că pentru a aplica un astfel de produs software sunt necesare două tipuri de competențe. O prima competență se referă la cunoașterea sistemului care trebuie simulat. O a doua competență se referă la existența unei capacități de expertiză de simulare, care implică atât cunoașterea unor tehnici de modelare și de gestionare a proiectelor, cât și înțelegerea rezultatelor simulării. O structură organizațională și un proces de lucru adecvat sunt, de asemenea, cruciale pentru o implementare de succes în companie. Studiile arată că este foarte importantă cunoașterea procesului industrial. Formalizarea acestui proces poate fi realizată cu un model de maturitate.

Problema de selecție a unui produs software este o problemă de decizie multi-criterială, pentru ca alegerea trebuie făcută dintr-o mulțime de produse software existente pe piață, care trebuie evaluate după mai multe criterii de un grup de experți. Pentru că intervin criterii de o natură foarte diferită: atât criterii cantitative, cât și calitative, criterii de minim sau de maxim, problema de selecție este o problemă cu obiective contradictorii. Pentru a rezolva astfel de probleme trebuie să facem apel la teoria deciziei multi-criteriale.

Obiectivul principal al acestui articol este dezvoltarea unei abordări multi-criteriale care să ajute companiile să selecteze produse software de simulare care să contribuie la îmbunătățirea productivității lor. Deoarece problema de selectare a unui produs software este o problemă de decizie multi-criterială cu obiective contradictorii, vom utiliza pentru rezolvarea acesteia teoria extensiei și metoda Matter-Element (ME). Acestea au ca obiect rezolvarea problemelor cu obiective contradictorii. Articolul este organizat după cum urmează: în secțiunea 2 este prezentat un scurt istoric privind apariția teoriei extensiei, a științei numite Extenics și a metodei ME pentru soluționarea problemelor cu obiective contradictorii. Se prezintă o comparație între mulțimile crisp logic, fuzzy și de extensie. Se definește un element problemă printr-un triplet care conține numele problemei, caracteristica și valoarea asociată caracteristicii. Se definește distanța conform teoriei extensiei, domeniile clasice și domeniile extinse. Metoda ME pentru mai multe variante și un singur nivel al criteriilor este dezvoltată în secțiunea 3. În secțiunea 4 este detaliat un studiu de caz pentru selectarea unui produs software de simulare. Articolul se finalizează cu concluzii.

## 2. Teoria extensiei

Procesul de soluționare a problemelor cu obiective contradictorii cu ajutorul produselor software se numește procesare inteligentă a problemelor cu obiective contradictorii. Pentru a soluționa problemele trebuie studiate regulile și metodele de soluționare a problemelor cu obiective contradictorii. Conceptul de extensie a fost dezvoltat în anul 1983 de matematicianul chinez Wen Cai pentru a rezolva problemele cu obiective contradictorii și incomparabile (Cai, 1983). În ultimii 30 de ani s-a dezvoltat din punct de vedere teoretic - teoria extensiei, s-a studiat sistemul de metode de extensie și s-a aplicat teoria extensiei și metodele sale în diferite domenii. Teoria extensiei, metodele de extensie și ingineria de extensie formează o nouă știință numită Extenics. Extenics este o știință care studiază posibilitatea extinderii lucrurilor, a regulilor și a metodelor cu modele

formalizate. Ea este utilizată pentru rezolvarea problemelor cu obiective contradictorii. Obiectul său de cercetare este legat de studiul problemelor cu obiective contradictorii din lumea reală. O problemă este cu obiective contradictorii atunci când obiectivele ei nu pot fi realizate simultan în condițiile existente (Cai, 2005). Teoria extensiei a fost utilizată pe scară largă pentru a soluționa problemele cu obiective contradictorii. Ea a fost aplicată cu succes în multe domenii: procesarea informațiilor, prognoza, evaluarea și luarea deciziilor, management, control, etc. (Zhang & Deng, 2009), (Xiao et al., 2018), (Chen et al. 2015), (Guo et al., 2014), (Deng et al., 2015), (Ni et al., 2014), (Pan et al., 2015), (Hu & Sun, 2014), (Gong et al. 2012). Una dintre metodele Extensiei este metoda Matter-Element (ME), metodă de evaluare a elementelor problemă propusă de profesorul Cai Wen în 1983. Modelul matematic al metodei ME este compus din obiecte, caracteristici (criterii) și valori ale caracteristicilor (He et al., 2011). Ideea teoriei extensiei este de a defini grade de corelare pentru elementele problemă și a evalua gradul în care elementul problemă aparține unui anumit grad de corelare.

Există trei tipuri de mulțimi, care sunt de obicei folosite pentru a descrie obiecte, și anume mulțimile „crisp logic”, mulțimile „fuzzy” și mulțimile de extensie. În mulțimile „crisp logic”, un element aparține sau nu aparține unei mulțimi, prin urmare, gama de valori adevăr este mulțimea  $\{0, 1\}$ . Setul „fuzzy” reprezintă gradul în care un element aparține mulțimii  $[0, 1]$ . Mulțimea de „extensie” extinde mulțimea „fuzzy” din intervalul  $[0, 1]$  în intervalul  $[-\infty, \infty]$ , ceea ce permite definirea oricăror date în domeniu. Comparații între mulțimile crisp logic, fuzzy și de extensie sunt prezentate în Tabelul 1.

**Tabel 1.** Comparație între mulțimile Crisp logic, Fuzzy și de Extensie

Elementul comparat	Mulțimea Crisp logic	Mulțimea Fuzzy	Mulțimea de extensie
Obiecte	Variabile de tip date	Variabile lingvistice	Probleme cu obiective contradictorii
Model	Model matematic	Model Fuzzy matematic	Model "element problemă"
Funcție descriptivă	Funcție de transfer	Funcție membru	Funcție de corelare
Proprietate	Precizie	Ambiguitate	Extensie
Rangul mulțimii	$\{0,1\}$	$[0,1]$	$[-\infty, \infty]$

## 2.1. Definirea unui element problemă

Fiecare element problemă are caracteristicile sale aferente, iar aceste caracteristici au valori corespunzătoare. Elementele care descriu o problemă trebuie să includă numele problemei (obiectului), caracteristica și valoarea asociată caracteristicii. În teoria extensiei (Cai, 1983), aceste trei elemente de bază constituie un element problemă  $R$ , compus din  $N$  (nume obiect),  $C$  (caracteristică), și  $V$  (valoarea caracteristică) pentru orice problemă dată. Astfel, formula pentru un element problemă  $R$  este:  $R=(N,C,V)$ . Acest triplet reprezintă o unitate fundamentală pentru a descrie un element problemă uni-dimensional.

Dacă problema  $R$  are  $n$  caracteristici (criterii) și fiecare caracteristică are valoarea ei, atunci  $C$  și  $V$  devin vectori:  $C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$  și  $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ , iar  $R$  poate fi definit ca un element problemă multi-dimensional exprimat prin:

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

În plus vectorul  $V$  poate avea una sau mai multe valori. În cazul multi-valoare, rangul acoperit de vectorul  $V$  este numit domeniul clasic. Definim două intervale  $F_0 = \langle a, b \rangle$  și  $F = \langle d, e \rangle$  cu proprietatea că  $F_0 \in F$ . Elementul problemă  $R_0$  corespunzător lui  $F_0$  este definit astfel:

$$R_0 = (F_0, C_j, V_j) = \begin{bmatrix} F_0 & c_1 & V_1 \\ & c_2 & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_0 & c_1 & \langle a_1, b_1 \rangle_1 \\ & c_2 & \langle a_2, b_2 \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle a_n, b_n \rangle \end{bmatrix}$$

unde  $C_j$  simbolizează caracteristica lui  $F_0$ , iar domeniul clasic  $V_j$  corespunde valorii lui  $c_j$ .

În același mod elementul problemă  $R_F$  corespunzător lui  $F$  este exprimat astfel:

$$R_F = (F, C_k, V_k) = \begin{bmatrix} F & c_1 & V_1 \\ & c_2 & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F & c_1 & \langle d_1, e_1 \rangle_1 \\ & c_2 & \langle d_2, e_2 \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle d_n, e_n \rangle \end{bmatrix}$$

unde  $C_k$  corespunde caracteristicii lui  $F$ , iar domeniul  $V_k$  reprezintă valoarea lui  $c_k$ .

## 2.2. Distanța în teoria extensiei

Definiția distanței dintre două puncte în matematica clasică este extinsă în teoria extensiei prin aceea că pentru distanța dintre un punct și un interval se construiește o funcție de corelație. Făcând presupunerea că  $f$  și  $F_0 = \langle a, b \rangle$  sunt respectiv un punct arbitrar și un interval în domeniul real, atunci distanța dintre  $f$  și  $F_0 = \langle a, b \rangle$  este exprimată astfel:

$$\Phi(f, F_0) = \left| f - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2} \quad (1)$$

Valoarea rangului dintre un punct și două intervale sau dintre două intervale este definită în continuare. Fie  $F_0 = \langle a, b \rangle$  și  $F = \langle d, e \rangle$  două intervale reale și  $F_0$  este conținut în  $F$ , atunci valoarea rangului dintre punctul  $f$  și intervalele  $F_0$  și  $F$  sunt definite ca:

$$D(f, F_0, F) = \begin{cases} \Phi(f, F) - \Phi(f, F_0), & f \notin F_0 \\ -1, & f \in F_0 \end{cases} \quad (2)$$

O funcție de corelație este definită ca raportul dintre distanța între  $f$  și  $F_0 = \langle a, b \rangle$  și valoarea rangului dintre punctul  $f$  și intervalele  $F_0$  și  $F$  astfel:

$$K(f) = \frac{\Phi(f, F_0)}{D(f, F_0, F)} \quad (3)$$

Așa cum este ilustrat în Figura 1, valoarea maximă a lui  $K(f)$  referită ca o funcție de corelație elementară are loc pentru  $f = \frac{a+b}{2}$ . Punctul  $f$  este exclus din  $F$  în cazul în care  $K(f) < -1$ , este conținut în  $F_0$  în cazul în care  $K(f) > 0$  și este inclus în domeniul extins dacă  $-1 < K(f) < 0$ . În plus  $f$  poate fi adus în  $F_0$  atunci când este realizată o condiție de transformare asupra lui  $f$  în domeniul extins.

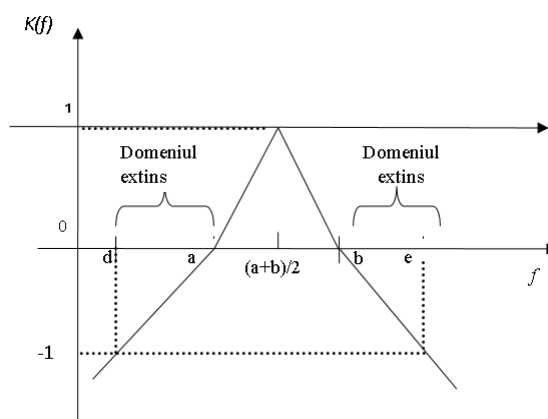


Figura 1. O ilustrație grafică a corelației de funcție

### 2.3. Domeniile clasice și domeniile extinse

O problemă  $R$  este definită ca:

$$R = (N_j, C, V) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

unde  $j=1,2,\dots,n$ ,  $n$  - numărul de criterii,  $v_j$  este valoarea caracteristicii  $c_j$  în raport cu elementul problemă  $N_j$ .

Domeniile clasice ale elementelor problemă pot fi definite astfel:

$$R = (N_{0,j}, C, V) = \begin{bmatrix} N_{0,j} & c_1 & v_{0,1} \\ & c_2 & v_{0,2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_{0,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{0,j} & c_1 & \langle a_{0,1}, b_{0,1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0,2}, b_{0,2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle a_{0,n}, b_{0,n} \rangle \end{bmatrix}$$

unde  $j=1,2,\dots,n$ .

Domeniile extinse ale elementelor problemă sunt definite astfel:

$$R_e = (N_{e,i}, C, V) = \begin{bmatrix} N_{e,i} & c_1 & v_{e,1} \\ & c_2 & v_{e,2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & v_{e,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{e,j} & c_1 & \langle c_{e,1}, d_{e,1} \rangle \\ & c_2 & \langle c_{e,2}, d_{e,2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle c_{e,n}, d_{e,n} \rangle \end{bmatrix}$$

## 3. Metoda Matter Element pentru mai multe variante și un singur nivel ale criteriilor

Analiza metodei ME include următoarele etape de bază: în primul rând, problema este împărțită în elemente-problemă (obiecte). Sunt selectate criteriile de evaluare și sunt definite clasele de intervale pentru fiecare criteriu. Pentru fiecare clasă, intervalul de valori se numește domeniu clasic, în timp ce întregul interval de valori pentru toate clasele se numește domeniu extins. În al treilea rând, se calculează gradul de corelație pentru fiecare criteriu (cu alte cuvinte, cât de bine se potrivește fiecare criteriu cu criteriile categoriei).

În cele din urmă, este calculat gradul de corelație integrat al elementelor-problemă pentru fiecare clasă prin metode de integrare, cum ar fi metoda medie ponderată. Clasa (care include gradul de corelație integrat maxim) definește gradul în care elementul problemă se încadrează în condițiile cerute.

O problemă de decizie se poate organiza și structura în elementele componente (elemente problemă). Elemente componente sunt variantele de decizie și criteriile după care variantele sunt evaluate. Elementele care reprezintă date de intrare în metoda ME sunt:

- (a) Problema de decizie  $P$ ,
- (b) Mulțimea criteriilor de evaluare:  $C=\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ ,
- (c) Mulțimea variantelor de evaluat:  $V=\{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ ,
- (d) Mulțimea gradelor de apreciere:  $M=\{m_1, m_2, \dots, m_l\}$ ,
- (e) Mulțimea intervalelor domeniului clasic:  $E_0=\{e_{0,1}, e_{0,2}, \dots, e_{0,l}\}$ ,
- (f) Mulțimea intervalelor domeniului extins:  $E_e=\{e_{e,1}, e_{e,2}, \dots, e_{e,l}\}$ ,
- (g) Matricea evaluărilor variantelor în raport cu criteriile stabilite:  $E=(e_{ik})$ ,
- (e) Mulțimea ponderilor asociate criteriilor:  $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ .

*Pasul 1.* Se definesc gradele de apreciere ce vor fi utilizate pentru definirea intervalelor domeniului clasic și evaluarea fiecărei variante. Notăm mulțimea gradelor de apreciere cu  $M=\{m_1, m_2, \dots, m_l\}$  unde  $m_1$  este mai bun decât  $m_2, \dots, m_{l-1}$  mai bun decât  $m_l$ . De exemplu mulțimea  $M$  poate fi definită astfel:  $M=\{\text{foarte bun, bun, mediu, slab, foarte slab}\}$ .

*Pasul 2.* Se definesc intervalele domeniului clasic. Elementul  $P_0$  conține: numele  $P_{0,jk}$ ,  $j=1, 2, \dots, l$ ;  $k=1, 2, \dots, n$ , mulțimea  $C$  de criterii și mulțimea intervalelor clasice de evaluare  $E_0=\{e_{0,1}, e_{0,2}, \dots, e_{0,l}\}$ . Prin definirea intervalelor clasice, pentru elementul  $P_0$ , se definesc toate valorile posibile de evaluare, pentru toate gradele de apreciere și toate criteriile. Se definesc astfel valorile de început și sfârșit ale intervalelor clasice pentru fiecare criteriu din mulțimea de criterii  $C$  și în cadrul fiecărui criteriu pentru fiecare grad de apreciere din mulțimea  $M$ .

$$P_0=(P_{0,jk}, C, E_0)= \begin{bmatrix} & m_1 & m_2 & \dots & m_l \\ P_{0,jk} & C & e_{0,1} & e_{0,2} & \dots & e_{0,l} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} & m_1 & m_2 & \dots & m_l \\ P_{0,jk} & C & e_{0,1} & e_{0,2} & \dots & e_{0,l} \\ c_1 & \langle a_{0,11}, b_{0,11} \rangle & \langle a_{0,21}, b_{0,21} \rangle & \dots & \langle a_{0,l1}, b_{0,l1} \rangle \\ c_2 & \langle a_{0,12}, b_{0,12} \rangle & \langle a_{0,22}, b_{0,22} \rangle & \dots & \langle a_{0,l2}, b_{0,l2} \rangle \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_n & \langle a_{0,1n}, b_{0,1n} \rangle & \langle a_{0,2n}, b_{0,2n} \rangle & \dots & \langle a_{0,ln}, b_{0,ln} \rangle \end{bmatrix}$$

unde  $j=1, 2, \dots, l$ ,  $k=1, 2, \dots, n$  cu condițiile:

$$b_{0,1,k \max} > a_{0,1,k \max} > b_{0,2,k \max} > a_{0,2,k \max} > \dots > b_{0,l,k \max} > a_{0,l,k \max} \text{ unde } k_{\max} \text{ este un criteriu de maxim.}$$

$$b_{0,1,k \min} < a_{0,1,k \min} < b_{0,2,k \min} < a_{0,2,k \min} < \dots < b_{0,l,k \min} < a_{0,l,k \min} \text{ unde } k_{\min} \text{ este un criteriu de minim.}$$

*Pasul 3.* Definirea intervalelor domeniului extins pentru elementul  $P_e$  care conține: numele  $P_{e,k}$ , mulțimea  $C$  de criterii și mulțimea intervalelor extinse de evaluare  $E_e=\{e_{e,1}, e_{e,2}, \dots, e_{e,n}\}$ . Domeniul extins este alcătuit din intervalele tuturor valorilor posibile organizate pe criterii. Se definesc valorile de început și sfârșit ale intervalelor extinse pentru fiecare criteriu din mulțimea de criterii.

$$P_e=(P_{0,k}, C, E_e)= \begin{bmatrix} P_{e,k} & c_1 & e_{e,1} \\ & c_2 & e_{e,2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & e_{e,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{e,k} & c_1 & \langle c_{e,1}, d_{e,1} \rangle \\ & c_2 & \langle c_{e,2}, d_{e,2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_n & \langle c_{e,n}, d_{e,n} \rangle \end{bmatrix}$$

unde:  $d_{e,1} \geq b_{0,1l} > a_{0,1l} \geq c_{e,1}$

$$d_{e,2} \geq b_{0,2l} > a_{0,2l} \geq c_{e,2}$$

.....

$$d_{e,n} \geq b_{0,ln} > a_{0,ln} \geq c_{e,n}$$

*Pasul 4.* Definirea ponderilor de importanță asociate criteriilor. Mulțimea ponderilor  $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ , asociate mulțimii criteriilor  $C=\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  poate fi determinată fie direct, fie prin utilizarea unei metode (ex: AHP, SMART, TOPSIS, SWARA, etc.). Vezi (Kersulienė et al., 2010), (Baykasoglu, 2013), (Rezaei, 2015), Saaty, 1980), (Rădulescu & Rădulescu, 2017, 2018).

*Pasul 5.* Definirea evaluării variantei  $V_i$  pentru problema de decizie  $P$  în raport cu criteriile, intervalele și cu aprecierile definite. Valorile din  $E=(e_{ik}), i=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,n$  reprezintă evaluările pentru fiecare criteriu din mulțimea  $C$ .

$$P = (V_i, C, E_i) = \begin{bmatrix} V_i & c_1 & e_{i1} \\ & c_2 & e_{i2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & e_{in} \end{bmatrix}, \text{ unde: } i=1, 2, \dots, m$$

*Pasul 6.* Calculul distanței dintre valorile mulțimii de evaluare  $E$  și intervalele clasice și extinse pentru varianta  $V_i$ .

$$\rho(e_{ik}, P_{0,jk}) = \left| e_{ik} - \frac{a_{0,jk} + b_{0,jk}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{0,jk} - a_{0,jk}), \text{ unde: } k=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, l. \quad (4)$$

$$\rho(e_{ik}, P_{e,k}) = \left| e_{ik} - \frac{c_{0,k} + d_{0,k}}{2} \right| - \frac{1}{2}(d_{0,k} - c_{0,k}), \text{ unde: } k=1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Calculul se repetă pentru fiecare variantă  $V_i$  din mulțimea  $V, i=1, 2, \dots, m$ .

*Pasul 7.* Calculul funcției de corelare, necesară pentru a determina gradul de corelare dintre evaluări. Calculul se realizează pentru fiecare grad de apreciere și fiecare criteriu în parte pentru varianta  $V_i$  astfel:

$$K_j(e_{ik}) = \begin{cases} \frac{-\rho(e_{ik}, P_{0,jk})}{|(b_{0,jk} - a_{0,jk})|}, & e_{ik} \in P_{0,jk} \\ \frac{\rho(e_{ik}, P_{0,jk})}{\rho(e_{ik}, P_{e,i}) - \rho(e_{ik}, P_{0,jk})}, & e_{ik} \notin P_{0,jk} \end{cases} \text{ unde: } k=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, l. \quad (6)$$

Calculul se repetă pentru fiecare variantă  $V_i$  din mulțimea  $V, i=1, 2, \dots, m$ .

*Pasul 8.* Se calculează gradul de corelare complet al schemei de evaluare astfel:

$$K_j(E_i) = \sum_{r=1}^n w_r K_j(e_{ir}), \text{ unde: } i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, l. \quad (7)$$

Se calculează:

$$K_r(E_i) = \max(K_j(E_i)) \quad (8)$$

Rezultă că varianta  $V_i$  este evaluată pentru gradul de apreciere dat de poziția  $r$  a maximumului  $K_r(E_i)$ . Se obține în final o ordine a variantelor în funcție de valoarea obținută și gradul de apreciere obținut.

#### 4. Studiu de caz: selectarea unui produs software de simulare

O organizație dorește să achiziționeze un produs software de simulare care să îndeplinească cerințe specifice. Aceasta este problema de decizie  $P$ . La nivelul organizației se organizează o echipa de specialiști cu scopul de a soluționa această problemă de decizie.

Pe piață există zeci de produse software de simulare, de exemplu: Simul8, Arena, Promodel, Simio, Anylogic, Flexsim, Processmodel, SIMPROCESS, etc., precum și pachete gratuite bazate pe cloud. Toate sunt suficient de puternice pentru majoritatea aplicațiilor practice, toate au un motor de simulare similar, dar diferă în ceea ce privește interfața cu utilizatorul, codarea programului, vizualizarea (2D sau 3D), costurile licențelor comerciale etc. Din analiza pieței de software de simulare s-a considerat ca potrivite trei produse software de simulare notate cu  $V_1, V_2, V_3$ . Dintre aceste produse, care constituie variantele problemei de decizie, trebuie ales un singur produs software.

Metoda de decizie multi-criterială aleasă pentru rezolvarea problemei este metoda ME. Produsele software sunt evaluate după mai multe criterii stabilite de către echipa de specialiști și pe baza unor scale de evaluare. Criteriile sunt organizate pe un singur nivel. Aceste criterii, împreună cu modul de cuantificare pentru fiecare criteriu, sunt prezentate în Tabelul 2.

**Tabel 2.** Criteriile pentru evaluarea problemei

Nr.crt.	Simbol	Criterii	Scală
1	C1	Portabilitate - compatibilitate SO	[0-5]
2	C2	Portabilitate - compatibilitate SGBD	[0-5]
3	C3	Personalizare	[0-10]
4	C4	Utilizabilitate - interfața utilizator	[0-10]
5	C5	Utilizabilitate - analiza și raportare	[0-10]
6	C6	Fiabilitate	[0-10]
7	C7	Securitate date	[0-5]
8	C8	Formare și documentare	[0-10]
9	C9	Întreținere și actualizare	[0-10]
10	C10	Suport furnizor	[0-10]
11	C11	Costuri software și hardware	Euro
12	C12	Costuri întreținere și actualizare	Euro
13	C13	Costuri instruire	Euro
14	C14	Reputație furnizor	[0-5]
15	C15	Stabilitate furnizor	[0-5]
16	C16	Experiența furnizor	[0-5]
17	C17	Opinii legate de furnizor	[0-10]

*Pasul 1.* Se definesc gradele de apreciere ce vor fi utilizate pentru definirea intervalelor domeniului clasic și evaluarea fiecărei variante. Mulțimea  $M$  a gradelor de apreciere este definită astfel:

$M = \{\text{foarte bun, bun, mediu, slab, foarte slab}\}$ . Numărul gradelor de apreciere este 5.

*Pasul 2.* Se definesc intervalele domeniului clasic pentru problema de decizie  $P_0$ .  $P_0$  conține numele, mulțimea  $C$  de criterii și mulțimea intervalelor clasice de evaluare  $E_0 = \{e_{0,1}, e_{0,2}, \dots, e_{0,5}\}$ . Prin definirea intervalelor clasice, pentru  $P_0$ , se definesc toate valorile posibile de evaluare, pentru toate gradele de apreciere și toate criteriile. Se definesc astfel valorile de început și sfârșit ale intervalelor clasice pentru fiecare criteriu din mulțimea de criterii  $C$  și în cadrul fiecărui criteriu pentru fiecare grad de apreciere din mulțimea  $M$  (Tabel 3).



**Tabel 3.** Intervalele domeniului clasic pentru problema de decizie  $P_0$ 

Criterii	Grade de apreciere				
	Foarte bun	Bun	Mediu	Slab	Foarte slab
C1	[4.5; 4.01]	[4; 3.01]	[3; 2.01]	[2; 1.01]	[1; 0.5]
C2	[4.5; 4.01]	[4; 3.01]	[3; 2.01]	[2; 1.01]	[1; 0.5]
C3	[9; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C4	[9; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C5	[9; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C6	[9; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C7	[4.5; 4.01]	[4; 3.01]	[3; 2.01]	[2; 1.01]	[1; 0.3]
C8	[9.5; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C9	[9.5; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C10	[9.5; 7.01]	[7; 6.01]	[6; 4.01]	[4; 2.01]	[2; 1]
C11	[5000; 4000]	[7000; 5001]	[8000; 7001]	[8500; 8001]	[9500; 8501]
C12	[600; 550]	[700; 601]	[800; 701]	[900; 801]	[950; 901]
C13	[100; 10]	[200; 101]	[300; 201]	[400; 301]	[450; 401]
C14	[4.5; 4.01]	[4; 3.01]	[3; 2.01]	[2; 1.01]	[1; 0.5]
C15	[4.5; 4.01]	[4; 3.01]	[3; 2.01]	[2; 1.01]	[1; 0.5]
C16	[4.5; 4.01]	[4; 3.01]	[3; 2.01]	[2; 1.01]	[1; 0.5]
C17	[9; 8.01]	[8; 6.01]	[6; 5.01]	[5; 2.01]	[2; 1]

*Pasul 3.* Definirea intervalelor domeniului extins pentru problema de decizie  $P_e$ .  $P_e$  conține numele  $P_{e,17}$ , mulțimea  $C$  de criterii și mulțimea intervalelor extinse de evaluare  $E_e = \{e_{e,1}, e_{e,2}, \dots, e_{e,17}\}$ . Domeniul extins este alcătuit din intervalele tuturor valorilor posibile pe criterii. Se definesc valorile de început și sfârșit ale intervalelor extinse pentru fiecare criteriu din mulțimea de criterii (Tabel 4).

**Tabel 4.** Intervalele domeniului extins pentru problema  $P_e$  de decizie și ponderile calculate

Criterii	Domeniu extins	Pondere	Criterii	Domeniu extins	Pondere
C1	[0;7]	0.058742	C10	[0;10]	0.058764
C2	[0;5]	0.058877	C11	[5000;10000]	0.058812
C3	[0;10]	0.058771	C12	[500;1000]	0.05886
C4	[0;10]	0.05875	C13	[0;500]	0.058774
C5	[0;10]	0.05882	C14	[0;5]	0.058916
C6	[0;10]	0.058763	C15	[0;5]	0.05904
C7	[0;5]	0.058988	C16	[0;5]	0.058824
C8	[0;10]	0.058787	C17	[0;10]	0.058749
C9	[0;10]	0.058762			

*Pasul 4.* Definirea ponderilor de importanță asociate criteriilor. Mulțimea ponderilor  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{17}\}$ , asociate mulțimii criteriilor  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{17}\}$ , a fost determinată prin metoda entropiei. Suma ponderilor este egală cu 1. Ponderile asociate criteriilor sunt prezentate în Tabelul 4.

*Pasul 5.* Se evaluează variantele  $V_i$ ,  $i=1,2,3$  pentru problema de decizie  $P = (V_i, C, E_i)$  în raport cu criteriile, intervalele și cu aprecierile definite și se obține matricea  $E = (e_{ik})$ ,  $i=1,2,3$ ;  $k=1,2,\dots,17$  (Tabel 5).

*Pasul 6.* Calculul distanțelor dintre valorile mulțimii de evaluare  $E$  și intervalele clasice și extinse pentru varianta  $V_i$ ,  $i=1,2,3$  se calculează după formula (4).

Distanțele dintre valorile mulțimii de evaluare și intervalele clasice pentru prima variantă  $V_1$  sunt prezentate în Tabel 6.

**Tabel 5.** Evaluările variantelor pentru problema de decizie  $P$ 

Criteria	$V_1$	$V_2$	$V_3$	Criteria	$V_1$	$V_2$	$V_3$
C1	4.1	2.5	4.3	C10	7.4	5.8	8.7
C2	3.8	2.6	3.7	C11	7700	7800	8500
C3	8.3	3.6	6.5	C12	470	550	600
C4	7.5	8.7	8.6	C13	410	450	470
C5	7.5	4.5	6.3	C14	2.1	3.7	2.8
C6	8.6	7.6	8.1	C15	4.8	4.9	3.6
C7	4.5	4.6	3.7	C16	4.5	2.9	4.7
C8	7.2	4.2	5.5	C17	7.1	3.7	8.3
C9	6.8	8.5	7.8				

**Tabel 6.** Distanțe între evaluări și intervalele clasice pentru varianta  $V_1$ 

Criteria	Grade de apreciere				
	Foarte bun	Bun	Mediu	Slab	Foarte slab
C1	-0.09	0.1	1.1	2.1	3.1
C2	0.21	-0.2	0.8	1.8	2.8
C3	-0.7	1.3	2.3	4.3	6.3
C4	-0.49	0.5	1.5	3.5	5.5
C5	-0.49	0.5	1.5	3.5	5.5
C6	-0.4	1.6	2.6	4.6	6.6
C7	0	0.5	1.5	2.5	3.5
C8	-0.19	0.2	1.2	3.2	5.2
C9	0.21	-0.2	0.8	2.8	4.8
C10	-0.39	0.4	1.4	3.4	5.4
C11	2700	700	-300	301	801
C12	80	131	231	331	431
C13	310	210	110	10	-9
C14	1.91	0.91	-0.09	0.1	1.1
C15	0.3	0.8	1.8	2.8	3.8
C16	-0.49	0.5	1.5	2.5	3.5
C17	0.91	-0.9	1.1	2.1	5.1

Se calculează apoi distanțele dintre valorile mulțimii de evaluare și intervalele clasice pentru a doua și a treia variantă. Distanțele dintre valorile mulțimii de evaluare și intervalele extinse sunt calculate conform cu (5).

Distanțele dintre valorile mulțimii de evaluare și intervalele extinse pentru cele trei variante sunt prezentate în Tabelul 7.

**Tabelul 7.** Distanțe dintre evaluări și intervalele extinse

Criteria	Variante			Criteria	Variante		
	$V_1$	$V_2$	$V_3$		$V_1$	$V_2$	$V_3$
C1	-2.9	-2.5	-2.7	C10	-2.6	-4.2	-1.3
C2	-1.2	-2.4	-1.3	C11	-2300	-2200	-1500
C3	-1.7	-3.6	-3.5	C12	30	-50	-100
C4	-2.5	-1.3	-1.4	C13	-90	-50	-30
C5	-2.5	-4.5	-3.7	C14	-2.1	-1.3	-2.2
C6	-1.4	-2.4	-1.9	C15	-0.2	-0.1	-1.4
C7	-0.5	-0.4	-1.3	C16	-0.5	-2.1	-0.3
C8	-2.8	-4.2	-4.5	C17	-2.9	-3.7	-1.7
C9	-3.2	-1.5	-2.2				

*Pasul 7.* Calculul funcției de corelare, necesară pentru a determina gradul de corelare dintre evaluări. Calculul se realizează pentru fiecare grad de apreciere și fiecare criteriu în parte pentru variantele  $V_i$ ,  $i=1,2,3$  conform cu (6). Funcția de corelare pentru prima variantă este prezentată în tabelul 8.

**Tabelul 8.** Valorile funcției de corelare pentru  $V_I$ 

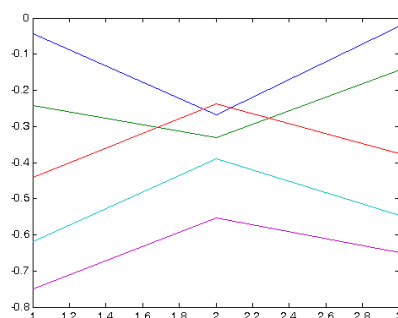
Criterii	Grade de apreciere				
	Foarte bun	Bun	Mediu	Slab	Foarte slab
C1	0.18367	-0.033333	-0.275	-0.42	-0.51667
C2	-0.14894	0.20202	-0.4	-0.6	-0.7
C3	0.35176	-0.43333	-0.575	-0.71667	-0.7875
C4	0.24623	-0.16667	-0.375	-0.58333	-0.6875
C5	0.24623	-0.16667	-0.375	-0.58333	-0.6875
C6	0.20101	-0.53333	-0.65	-0.76667	-0.825
C7	0	-0.5	-0.75	-0.83333	-0.875
C8	0.076305	-0.066667	-0.3	-0.53333	-0.65
C9	-0.061584	0.20202	-0.2	-0.46667	-0.6
C10	0.15663	-0.13333	-0.35	-0.56667	-0.675
C11	-0,2583	-0,11572	0,3003	-0,23333	-0,54
C12	-1,07480	-1,09970	-1,14930	-1,29700	-1,60000
C13	0,18367	-0,1	-0,55	-0,7	-0,775
C14	-0.47631	-0.30233	0.090909	-0.045455	-0.34375
C15	-0.6	-0.8	-0.9	-0.93333	-0.95
C16	0.49495	-0.5	-0.75	-0.83333	-0.875
C17	-0.23885	0.45226	-0.275	-0.42	-0.6375

*Pasul 8.* Se calculează gradul de corelare complet conform cu (7). Valorile obținute pentru gradul de corelare complet sunt prezentate în tabelul 9.

**Tabelul 9.** Gradul de corelare complet

Variante	Grade de apreciere				
	Foarte bun	Bun	Mediu	Slab	Foarte slab
$V_1$	-0,0425367	-0,241141192	-0,44034601	-0,619664827	-0,74865228
$V_2$	-0,2684482	-0,33139509	-0,236874794	-0,389354128	-0,5520912
$V_3$	-0,0214993	-0,143387996	-0,376305954	-0,549117489	-0,64845315

Un grafic al valorilor obținute pentru cele trei variante și cele cinci grade de apreciere este prezentat în figura 2.

**Figura 2.** Valorile obținute pentru cele trei variante și cinci grade de apreciere

Se calculează maximul pentru fiecare variantă (tabelul 10) după formula (8).

**Tabelul 10.** Valorile finale

Variante	Maxim	Gradul de apreciere
$V_1$	-0,04253674	Foarte bine
$V_2$	-0,23687479	Mediu
$V_3$	-0,02149931	Foarte bine

Ordonând aceste valori vom obține o ordine a variantelor. Astfel cea mai bună variantă este varianta 3. Urmează varianta 1 și ultima este varianta 2. Poziția ne asigură gradul de apreciere pentru fiecare variantă.

Studiul de caz a fost rezolvat cu un set de script-uri Matlab ce implementează metoda ME.

## 5. Concluzii

Scopul articolului a fost de a dezvolta o abordare multi-criterială pentru selecția unui produs software de simulare. Această abordare se bazează pe metoda ME pentru rezolvarea problemelor cu obiective contradictorii. ME consideră mulțimea de extensie diferită de mulțimea crips logic și fuzzy. În ME se definesc domenii clasice și domenii extinse pentru o problemă de rezolvat. ME pentru mai multe variante și un singur nivel de organizare a criteriilor a fost considerată pentru problema de selecție a unui produs software de simulare. Metoda ME multi-criterială a fost organizată și prezentată pe pași de parcurs.

Abordarea propusă a fost aplicată pe un studiu de caz pentru selectarea unui pachet software de simulare. În urma unei analize a pieței s-au selectat trei produse software care constituie variantele luate în considerare pentru selecție. Aceste variante au fost evaluate de către un grup de specialiști după un set de 17 criterii în raport cu intervalele domeniului clasic și a celui extins. S-au calculat distanțele între evaluări și intervalele clasice și extinse pentru toate variantele și toate criteriile. S-au obținut apoi gradele de corelare complete pentru variante și s-a stabilit ordinea acestora.

Abordarea propusă prezintă, într-o manieră structurată problema de decizie, variantele și criteriile legate de caracteristicile produselor software de simulare care sunt de interes pentru managerii din companii. Ponderile alocate criteriilor trebuie alese cu atenție pentru a asigura evaluarea tuturor criteriilor în funcție de caracteristicile procesului studiat și obiectivele dorite. Trebuie subliniat faptul că criteriile selectate trebuie adaptate la evoluția tehnologică continuă a produselor software de simulare disponibile pe piață.

## Mențiuni

Cercetarea prezentată în acest articol a fost susținută de proiectul „Noi soluții pentru complexe probleme în domeniile actuale de cercetare TIC bazate pe modelare și optimizare ” (finanțat de Ministerul Educației, Culturii și Cercetării prin Programul nucleu).

## BIBLIOGRAFIE

1. Aramoon, E., Aramoon, V. (2019). *Identifying and Prioritizing the Cultural Factors Affecting the Successful Implementation of Knowledge Management in the Industry of Electronic Insurance Services by Using the Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method*. Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control), 29(2), 69-84.
2. Azadeh, A., Shirkouhi, S. N., Rezaie, K. (2010). *A robust decision-making methodology for evaluation and selection of simulation software package*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 47, 381–393.
3. Baykasoglu, A., Kaplanoglu, V., Durmusoglu, Z. D. U., Sahin C. (2013). *Integrating Fuzzy DEMATEL and Fuzzy Hierarchical TOPSIS Methods for Truck Selection*. Expert Systems with Applications, 40, 899-907.
4. Cai, W. (1983). *The extension set and incompatibility problem*. Journal of Scientific Exploration, 1, 610–614.
5. Chai, J., Liu, J. N. K., Ngai, E. W. T. (2013). *Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature*. Expert System Applications, 40, 3872–3885.

6. Chen, J. H., Wan, Z., He, X. H., Ning, Y. (2015). *Factors analysis and application for traffic accidents using Fuzzy matter element method*. Journal of System Science, 23(2), 37–40.
7. Cochran, J. K., Chen, H. N. (2005). *Fuzzy multi-criteria selection of object-oriented simulation software for production system analysis*. Computer Operation Research, 32, 153–168.
8. Davis, L., Williams, G. (1994). *Evaluation and selecting simulation software using the analytic hierarchy process*. Integrated Manufacturing Systems, 5 (1), 23–32.
9. Deng, X., Xu, Y., Han, L., Yu, Z. (2015). *Assessment of river health based on an improved entropy-based fuzzy matter-element model in the Taihu Plain, China*. Ecological Indicators, 57, 85–95.
10. Gong, J. Z., Liu, Y. S., Chen, W. L. (2012). *Land suitability evaluation for development using a matter-element model: A case study in Zengcheng, Guangzhou, China*. Land Use Policy, 29, 464–472.
11. Guimarães, A. M. C., Leal, J. E., Mendes, P. (2018). *Discrete-event simulation software selection for manufacturing based on the maturity model*. Computers in Industry, 103, 14–27.
12. Guo, Y. Y., Liu, P., Wu, Y. (2014). *Evaluation of rail transit service level based on matter-element extensions theory*. Journal of Wuhan University of Technology, 36(8), 69–75.
13. Gupta, A., Singh, K., Verma, R. (2010). *A critical study and comparison of manufacturing simulation software using analytic hierarchy process*. Journal of Engineering Science and Technology, 5 (1), 108–129.
14. He, Y. X., Dai, A. Y., Zhu, J., He, H. Y., Li, F. (2011). *Risk assessment of urban network planning in China based on the matter-element model and extension analysis*. Electrical Power Energy Systems, 33, 775–782.
15. Hu, Q. Z., Sun, Z. X. (2014). *A study on urban road traffic safety based on matter element analysis*. Computer Intelligence Neuroscience, 2014, 1–10.
16. Johansson, B., Johnsson, J., Kinnander, A. (2003). *Information structure to support discrete event simulation in manufacturing systems*. Winter Simulation Conference.
17. Kersulienė, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. (2010). *Selection of rational dispute resolution method by applying new step wise weight assessment ratio analysis (SWARA)*. Journal of Business Economics and Management, 11(2), 243–258.
18. Mitan, E. (2019). *Probleme de decizie: selecția furnizorilor ecologici*. Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control), 29(4), 35–46.
19. Ni, J., Liu, Z. Q., Wang, P. (2014). *Comprehensive evaluation of advanced public transportation system based on the matter element and combination weight*. Applied Mechanics and Materials, 694, 26–29.
20. Nikoukaran, J., Hlupic, V., Paul, R. J. (1999). *A hierarchical framework for evaluating simulation software*. Simulation Practice Theory, 7, 219–231.
21. Norouzilame, F., Jackson, M. (2013). *On the Application of Discrete-Event Simulation in Production*. Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems, 259–272. Springer, Heidelberg.
22. Pan, G., Xu, Y., Yu, Z. (2015). *Analysis of river health variation under the background of urbanization based on entropy weight and matter-element model: A case study in Huzhou City in the Yangtze River Delta, China*. Environment Research, 139, 31–35.
23. Radulescu, C. Z., Radulescu, M. (2001). *Decision analysis for the project selection problem under risk*. IFAC Proceedings Volumes, 34(8), 445–450.

24. Radulescu, C. Z., Radulescu, M. (2018). *Group decision support approach for cloud quality of service criteria weighting*. Studies in Informatics and Control, 27(3), 275-284.
25. Rădulescu, C. Z., Rădulescu, I. C. (2017). *An extended TOPSIS approach for ranking cloud service providers*. Studies in Informatics and Control, 26(2), 183-192.
26. Rezaei, J. (2015). *Best-worst multi-criteria decision-making method*, Omega, 53, 49–57.
27. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Press, New York.
28. Sawant, V. B., Mohite, S. S. (2011). *A Decision-Making Framework for Simulation Software Selection Problem Using a Preference Selection Index Method*. Springer Communications in Computer and Information Science Series, 176–181.
29. Xiao, Q., He, R. C., Yu, J. N. (2018). *Evaluation of taxi carpooling feasibility in different urban areas through the K-means matter–element analysis method*. Technology in Society, 53, 135–143.
30. Zhang, B., Deng, W. (2009). *Matter-elements evaluation approach of road network based on information entropy theory*. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 26(10), 118–125.



**Constanța Zoie RĂDULESCU** este cercetator științific gradul I în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică - ICI București. Deține titlul de doctor în matematică. Domeniile principale de interes sunt: analiză și decizie multicriterială, 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/co-autor a șapte cărți și capitole de carte în edituri recunoscute din țară (Editura Academiei Române, Editura Printech) și străinătate (Editura Springer, Editura Nova Publishers), autor/co-autor a peste 150 articole publicate în reviste de specialitate și proceedings-uri ale unor congrese, conferințe și simpozioane din țară și străinătate. A condus numeroase proiecte de cercetare câștigate prin competiție, teme și granturi de cercetare.

**Constanța Zoie RĂDULESCU** is a principal scientific researcher (I) at the National Institute for Research and Development in Informatics - ICI Bucharest, holding a PhD in Mathematics. Her main areas of interest are: multicriteria analysis and decision, multi-attribute and multi-objective methods, data and model-based decision support systems, risk management, mathematical models in portfolio selection theory, modeling and simulation. She is the author/co-author of 7 books and has contributed in several collective volumes from well known national publishing houses (e.g. Publishing House of the Romanian Academy, Printech) as well as international ones (e.g. Springer, Nova Publishers). Moreover, she authored/coauthored more than 150 articles published in specialized journals and proceedings of congresses, conferences and symposiums both in the country and abroad. She has coordinated numerous research projects, themes and research grants.