

# Selecția în sisteme de tip IoT bazată pe metode multi-criteriale

Constanța Zoie RĂDULESCU<sup>1</sup>, Delia Mihaela NEACȘU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institutul Național de Cercetare Dezvoltare în Informatică – ICI București

<sup>2</sup> Universitatea Politehnică din București

zoie.radulescu@ici.ro, delia.mihaela2010@gmail.com

**Rezumat:** Creșterea pe scară largă a comunicațiilor și a numărului de dispozitive în Internetul Lucrurilor (Internet of Things – IoT) a permis dezvoltarea de sisteme de tip IoT în diverse domenii de activitate. Selecția dispozitivelor, tehnologiilor, aplicațiilor și platformelor IoT joacă un rol critic în rezolvarea problemelor legate de achiziția de echipamente și realizarea de sisteme IoT. Probleme de selecție în IoT, care implică considerarea mai multor criterii, pot fi rezolvate cu ajutorul metodelor de decizie multi-criterială. Acest articol își propune o analiză a unor astfel de probleme de selecție în sisteme de tip IoT și a modului în care acestea pot fi rezolvate cu ajutorul metodelor multi-criteriale. Selecția, prin metode multi-criteriale, presupune evaluarea unei mulțimi de variante după mai multe criterii, adeseori conflictuale, considerate simultan. Pe baza analizei literaturii de specialitate a fost identificat un set de metode multi-criteriale mai des utilizate pentru rezolvarea problemelor de selecție în IoT. Pentru aceste metode se prezintă într-o sinteză avantaje și dezavantaje ale utilizării lor. Lucrarea conține, de asemenea, o sinteză a principalelor criterii utilizate în evaluare, pentru probleme de selecție în IoT.

**Cuvinte cheie:** Selecție, Internetul Lucrurilor, metode multi-criteriale, criterii de selecție.

## Selection in IoT type systems based on multi-criteria methods

**Abstract:** The large-scale increase in communications and the number of devices in the Internet of Things (IoT) has allowed the development of IoT-type systems in various fields of activity. The selection of IoT devices, technologies, applications and platforms plays a critical role in solving the equipment procurement and realization of IoT systems. Selection problems in IoT, which involve the consideration of several criteria, can be solved with the help of multicriteria decision methods. This paper proposes an analysis of such selection problems in IoT-type systems and to show how they can be solved with the help of multi-criteria methods. The selection, through multi-criteria methods, involves evaluating a set of options according to several criteria, often conflicting, considered simultaneously. Based on the literature review, a set of multi-criteria methods more often used to solve selection problems in IoT were identified. For these methods, the advantages and disadvantages for their use are presented in a synthesis. The paper also contains a synthesis of the main criteria used in the multi-criteria evaluation, for selection problems in IoT.

**Keywords:** Selection, Internet of Things, multi-criteria methods, selection criteria.

### 1. Introducere

Creșterea pe scară largă a comunicațiilor și a numărului de dispozitive în Internetul Lucrurilor (Internet of Things – IoT) a permis dezvoltarea de sisteme de tip IoT în diverse domenii de activitate (Tudora et al., 2021; Ugljanin et al., 2022). Principalele probleme din domeniul IoT sunt legate de interoperabilitate, securitate, gestionarea datelor, scalabilitate, eficiență energetică, cost. Selecția dispozitivelor, tehnologiilor, aplicațiilor și platformelor IoT joacă un rol critic în rezolvarea problemelor legate de achiziția de echipamente și realizarea de sisteme de tip IoT. Procedura de selecție este îngreunată din mai multe cauze. O cauză o reprezintă numărul mare de platforme, tehnologii, dispozitive IoT care sunt oferite pe piață. O altă cauză este determinată de marea diversitate de funcții, soluții și nivele de performanță oferite de platformele, tehnologiile și aplicațiile IoT. În astfel de probleme de selecție și evaluare trebuie ținut cont de mai multe criterii (factori). Acest tip de probleme, în care pentru alegerea unei variante dintr-o mulțime de variante, evaluate după mai multe criterii, considerate simultan și de multe ori conflictuale, se încadrează în categoria problemelor multi-criteriale. Ele se pot rezolva cu ajutorul metodelor de decizie

multi-criteriale. Într-o problemă multi-criterială o mulțime de variante este evaluată în raport cu o mulțime de criterii. Scopul rezolvării problemei multi-criteriale este fie de a găsi cea mai bună variantă, fie de a ordona mulțimea variantelor.

Cercetările legate de selecția în IoT s-au dezvoltat mult în ultimii ani. Metodele multi-criteriale pot ajuta la abordarea problemelor de selecție, oferind o abordare structurată pentru evaluarea și compararea diferitelor variante pe baza mai multor criterii. Selecția depinde însă de domeniul de aplicație a IoT și de criteriile luate în considerare.

Acest articol își propune o analiză a principalelor probleme de selecție în sisteme de tip IoT și a modului în care acestea pot fi rezolvate cu ajutorul metodelor de decizie multi-criteriale. Câteva exemple de probleme de selecție în IoT sunt: selectarea celui mai bun dispozitiv IoT, senzor, tehnologie, aplicație, serviciu sau platformă IoT. Tipuri de mulțimi de variante ce pot fi considerate în probleme de selecție în IoT pot fi: mulțimea senzorilor, dispozitivelor, tehnologiilor, canalelor de comunicație, aplicațiilor sau platformelor IoT. Acestea sunt evaluate, fiecare, după mai multe criterii caracteristice fiecărei probleme de selecție în parte. Pe baza analizei literaturii de specialitate a fost identificat un set de metode multi-criteriale mai des utilizate pentru rezolvarea problemelor de selecție în IoT. Pentru aceste metode se prezintă într-o sinteză avantaje și dezavantaje ale utilizării lor. De asemenea, în acest articol este realizată o sinteză a principalelor criterii utilizate în evaluarea multi-criterială, pentru fiecare tip de problemă de selecție în IoT.

Articolul este organizat după cum urmează. În Secțiunea 2 se realizează un studiu asupra aplicării metodelor multi-criteriale la problemele de selecție în sisteme de tip IoT. În Secțiunea 3 se identifică un set de metode multi-criteriale utilizate pentru rezolvarea problemelor de selecție în IoT. Pentru aceste metode se prezintă într-o sinteză avantaje și dezavantaje ale utilizării acestor metode. În Secțiunea 4 sunt analizate principalele criterii utilizate în problemele de selecție a dispozitivelor, senzorilor, tehnologiilor, aplicațiilor și platformelor IoT. În final, în Secțiunea 5 se prezintă concluziile.

## 2. Cercetări privind selecția multi-criterială în sisteme de tip IoT

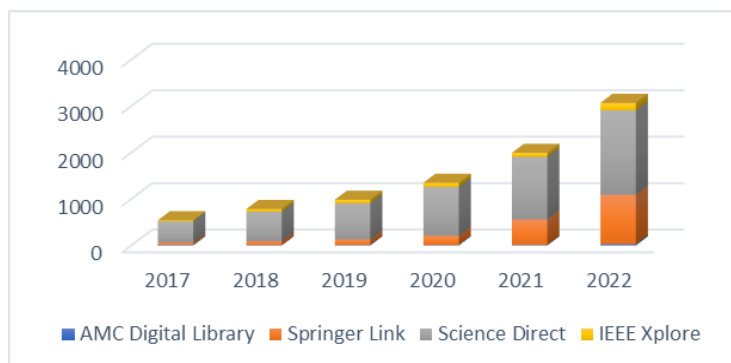
În cele ce urmează este prezentat un studiu asupra articolelor publicate în perioada 2012-2022 privind aplicarea metodelor multi-criteriale în probleme de selecție în IoT. Căutarea a fost realizată în bazele de date Science Direct (Science Direct - Journals & Books, 2023), Springer Link (Springer Link, 2023), IEEE Xplore, (IEEE Xplore, 2023) și ACM Digital Library (ACM Digital Library, 2023) utilizând cuvintele cheie "Internet of Things", "Multi-criteria" and "selection" cu operatorul "and".

Criteriile utilizate pentru alegerea articolelor de specialitate pentru acest studiu sunt:

- Articole publicate în edituri recunoscute pe plan internațional. Astfel au fost considerate bazele de date cu articole de specialitate: Science Direct, Springer Link, ACM Digital Library și IEEE Xplore.
- Articole publicate în reviste de specialitate, articole publicate în proceedings de conferințe, cărți și capitole în cărți.
- Articole realizate de cercetători, de cadre didactice universitare sau de practicieni. Au fost luate în considerare atât soluțiile teoretice, cât și cele practice.
- Articole care au fost recenzate prin peer review de către specialiști în domeniu. Acest standard a garantat un nivel ridicat de calitate a articolelor selectate.
- Articole scrise în limba engleză.
- Perioada de publicare a articolelor aleasă este între anii 2012 și 2022.

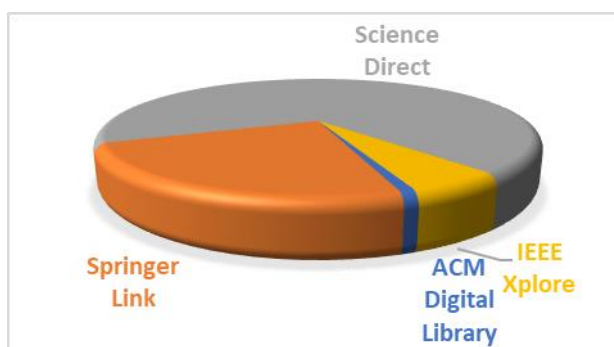
Rezultatele obținute sunt prezentate în Figura 1 și Figura 2. În Figura 1 sunt prezentate, pe ani, numărul de articole publicate din cele patru mari baze de date cu articole de specialitate: Science Direct, Springer Link, ACM Digital Library și IEEE Xplore. În ultimii ani se observă o

creștere evidentă a numărului de articole pentru cuvintele cheie selectate pentru toate bazele de date considerate în analiză. Dacă în perioada 2012-2015 numărul de articole a fost relativ constant, o creștere marcantă a numărului de articole publicate cu cuvintele cheie selectate se observă în perioada 2020-2022. Se demonstrează astfel că subiectul este de actualitate, iar numărul de lucrări publicate este în continuă creștere. Domeniul deciziei multi-criteriale s-a dezvoltat mult în ultimii ani. Au apărut metode noi, adaptări și extensii ale metodelor existente, metode hibride (combinații de două sau mai multe metode). Metodele multi-criteriale au evoluat continuu pentru a face față diversității și complexității problemelor de decizie actuale.



**Figura 1.** Evoluția numărului de articole publicate în perioada 2017-2022

În Figura 2 este ilustrat numărul total de articole de specialitate publicate în cele patru mari baze de date ținând cont de cuvintele cheie utilizate în analiză. Se observă că cele mai multe articole au fost publicate în baza de date Science Direct urmată de bazele de date Springer Link, IEEE Xplore și ACM Digital Library. În Science Direct cele mai multe articole publicate sunt din categoria "Research article" (5332) urmate de "Review articles" (1203). În Springer Link cele mai multe articole publicate sunt "Conference Proceedings" (801) și articole publicate în jurnale de specialitate (434). În IEEE Xplore cele mai multe articole publicate sunt articole de Conferință (319) urmate de articole publicate în jurnale de specialitate (154).



**Figura 2.** Distribuția articolelor publicate în bazele de date Science Direct, Springer Link, IEEE Xplore și ACM Digital Library

### 3. Metode multi-criteriale pentru selecție în IoT

Există o bogată literatură de specialitate legată de teoria deciziei și a deciziei multi-criteriale (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) cât și aplicații ale acestora. Există numeroase metode multi-criteriale cu caracteristici diferite care se diferențiază prin aspecte variate. Astfel, câteva dintre aceste aspecte sunt: tipologia problemei de decizie, mulțimea variantelor sau modul de agregare. Sunt realizate diferite clasificări ale acestor metode. După tipologia problemei de decizie, metodele multi-criteriale pot fi: de ierarhizare (ordonarea variantelor de la cea mai preferată la cea mai puțin preferată), de sortare/clasificare ordinală (atribuirea variantelor unor clase de decizie predefinite ordonate în funcție de preferințe), de grupare (împărțirea variantelor în grupuri în funcție de o măsură de similitudine sau de relații de preferință) și de alegere (de selectare a subsetul

de variante cel mai preferat) (Cinelli et al., 2022). În articolul (Zopounidis & Doumpos, 2002) metodele multi-criteriale sunt clasificate după procedura de agregare astfel: metode bazate pe relații de depășire (outranking relations), metode bazate pe funcții de utilitate, metode bazate pe funcții de discriminare și metode fără funcții. În articolul (Hwang & Yoon, 1981) metodele multi-criteriale se clasifică în metode multi-obiectiv (Multi Objective Decision Making – MODM) și metode multi-atribut (Multi Attribute Decision Making – MADM). În metodele multi-obiectiv mulțimea variantelor este infinită, pe când în metodele multi-atribut numărul de variante este finit. Este important de menționat faptul că aceste clasificări nu se exclud reciproc. De exemplu, unele metode pot fi utilizate atât în problemele MADM, cât și în problemele MODM.

Metodele multi-criteriale se constituie într-un real ajutor pentru problemele de selecție în IoT în care, din mai multe variante (opțiuni), pe baza unei mulțimi de criterii se alege cea mai bună variantă sau se obține o ierarhie a variantelor. Evaluarea variantelor în raport cu fiecare criteriu poate fi realizată pe diverse scale de evaluare, fuzzy sau non-fuzzy. Criteriile pot avea ponderi diferite sau ponderi egale. Ponderile sau importanța criteriilor de evaluare se pot determina prin metode de ponderare.

Câteva rezultate relevante privind aplicarea metodelor multi-criteriale în probleme de selecție în IoT sunt prezentate într-o sinteză în Tabelul 1.

**Tabel 1.** Sinteza privind aplicarea metodelor multi-criteriale pentru rezolvarea de probleme de selecție în sisteme IoT

Referință articol	Problema de selecție IoT	Metoda/metodele multi-criteriale	Criterii
(Nunes et al., 2017)	Selecție senzori IoT	SAW, TOPSIS și VIKOR	Baterie, preț, frecvență, consum energie, timp de răspuns.
(Mejri & Azzouna, 2017)	Selecție serviciu IoT	ANP + TOPSIS	Timp de răspuns și fiabilitate.
(Silva et al., 2017)	Selecție dispozitive IoT	AHP	Energie, timp de implementare, construcție/ adaptare hardware, cost, ceas.
(Silva & Jardim-Gonçalves, 2017)	Selecție platformă hardware IoT	AHP	Energie, cost, ceas, memorie, memorie utilizată.
(Durão et al., 2018)	Selecție tehnologie IoT	AHP	Fiabilitate, securitate, afaceri, mobilitate și eterogenitate.
(Mohammadzadeh et al., 2018)	Identificare și prioritizare factori de dezvoltare pentru tehnologii IoT	Fuzzy ANP	Factori de securitate și confidențialitate, factori juridici și de reglementare, factori tehnologici, factori culturali, factori de afaceri.
(Singla et al., 2018)	Selecție servicii cloud IoT	Fuzzy AHP + Fuzzy TOPSIS	Disponibilitate, viteză, capacitate, cost, confidențialitate.
(Zheng et al., 2019)	Selecție senzori IoT	R-Tree+TOPSIS	Durata de viață, sensibilitatea, precizia măsurării, timpul de răspuns, timpul de pornire și consumul de energie.
(Kondratenko et al., 2019)	Selecție platformă IoT	Metodă multi-obiectiv cu abordare de clasificare pentru ponderi	Fiabilitate, încredere, siguranță și securitate.
(Baranwal et al., 2020)	Selecție servicii IoT	Fuzzy TOPSIS + OWA	Metrici QoS legate de capacitatea de calcul, Metrici QoS legate de comunicații, Metrici QoS legate de obiecte.

(Mashal et al., 2020)	Selecție aplicații IoT	AHP + SAW	Obiecte inteligente (cost, consum energie, instalare, interoperabilitate) aplicație IoT (ușurință de utilizare, interfață, confidențialitate, fiabilitate și disponibilitate), furnizor (asistență pentru client, reputație, numărul de clienți).
(Singh et al., 2020)	Selecție furnizori de servicii IoT	AHP + TOPSIS	Metrici QoS legate de capacitatea de calcul, Metrici QoS legate de comunicații, Metrici QoS legate de obiecte.
(Nadhira & Dachyar, 2020)	Selecție dispozitive IoT	DEMATEL, ANP și COPRAS	Cost, securitate și fiabilitate.
(Silva & Jardim-Goncalves, 2020)	Selecție dispozitiv IoT	AHP, ELECTRE	Consum de energie, timpul de implementare, hardware construit/adaptat, cost și viteza de procesare a soluției.
(Chakraborty et al., 2021)	Selecție platformă cloud IoT, cu accent pe prioritățile specifice utilizatorului	Estimare ponderi prin mulțimi fuzzy + DBA	Calitate (funcționalitate, fiabilitate, utilizare, eficiență, mentenanță și portabilitate), tehnici (capacitate de stocare, performanța CPU, utilizare memorie, design platformă și viteza rețelei) și economici (cost de inducere a serviciului, cost de întreținere și cost de promovare).
(Silva & Jardim-Goncalves, 2021)	Selecție dispozitive IoT pentru sisteme Cyber-Physical Systems	AHP+ PROMETHEE, ELECTRE	Consum de energie, timp de implementare, hardware construit/adaptat, cost și viteză de procesare.
(Onar et al., 2022)	Selecție platformă IoT	Fuzzy TOPSIS	Rentabilitate investiție, flexibilitate de a schimba platforma IoT, performanță, sustenabilitate, nivel de maturitate, securitate, servicii de suport oferite de platformă, relații anterioare cu compania furnizoare de platforme IoT, putere ecosistem IoT, domeniu de aplicare al serviciilor și capacitate de utilizare a platformei IoT.
(Zaher & Eldakhly, 2022)	Selecție platformă IoT	TOPSIS de grup	Confidențialitate și securitate, manipulare operațională, acces la operațiuni, gestionare a proceselor, gestionare a setului de date, comunicare și analiză date.
(Yadav et al., 2023)	Selecție rețea de comunicație IoT	I-MEREC+ TOPSIS	Lățimea de bandă, întârzierea, fluctuația, rata de pierdere a pachetelor, rata de eroare de biți și preț.
(Krishankumar & Ecer, 2023)	Selecție furnizor de servicii IoT	CRITIC + fuzzy CRADIS	Utilizare, scalabilitate, disponibilitate, inovație, confidențialitate/securitate și costul total.

În articolele (Galán et al., 2021) și (Ullah et al., 2020) se realizează recenzii ale literaturii de specialitate privind selecția în sisteme IoT (metode și criterii de selecție).

Rezultatele analizei realizate privind utilizarea metodelor multi-criteriale pentru rezolvarea de probleme de selecție în sisteme IoT scot în evidență faptul că cele mai utilizate metode sunt AHP, TOPSIS și SAW și combinații ale acestor metode cu alte metode. Metoda AHP este utilizată în special pentru calculul ponderilor criteriilor. Ea este folosită și în combinație cu alte metode multi-criteriale pentru a se realiza o selecție.

Metode multi-criteriale mai des utilizate în probleme generale de selecție și identificate în rezolvarea problemelor de selecție în IoT, precum și o scurtă prezentare a avantajelor și dezavantajelor acestora sunt prezentate în Tabelul 2.

**Tabel 2.** O scurtă prezentare a avantajelor și dezavantajelor metodelor multi-criteriale utilizate în rezolvarea problemelor de selecție în IoT

Metoda multi-criterială	Avantaje	Dezavantaje
SAW - Simple Additive Weighting (MacCrimmon, 1968)	Este simplă și ușor de utilizat. Nu necesită calcule matematice complexe. Poate gestiona seturi mari de date. Este potrivită pentru probleme de selecție IoT cu criterii independente. Metodă intuitivă cu algoritm simplu.	Este sensibilă la alegerea ponderilor. Nu gestionează valori negative. Ignoră interdependența dintre criterii. Este necesară convertirea criteriilor de minimizare în maximizare.
ELECTRE - Élimination Et Choix Traduisant la REalité (Roy, 1968)	Permite luarea în considerare a datelor calitative și cantitative imprecise. Oferă o modalitate flexibilă de modelare a preferințelor factorilor de decizie. Ia în considerare diverse praguri de preferință. Ține cont de incertitudine. Permite lucrul cu criterii dependente.	Este sensibilă la alegerea parametrilor. Poate duce la mai multe soluții potențiale. Complex de implementat atunci când se confruntă cu multe criterii și variante. Necesită calibrarea atentă a pragurilor de concordanță și discordanță.
DEMATEL - Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, (Fontela & Gabus, 1976)	Captează relațiile cauză-efect dintre criterii. Oferă perspective asupra interdependențelor dintre criterii. Ajută la identificarea criteriilor influente și a impactului acestora asupra deciziei. Folosește instrumente vizuale precum diagramele de influență care facilitează vizualizarea relațiilor complexe.	Necesită cunoștințe de specialitate pentru a defini și analiza graficul generat și diagrama de influență. Poate fi consumatoare de timp și de resurse. Are sensibilitate la alegerea criteriilor și a relațiilor dintre acestea. Implică subiectivitate.
AHP - Analytic Hierarchy Process, (Saaty, 1977)	Este potrivită pentru calculul ponderilor criteriilor. Poate face față problemelor complexe de luare a deciziilor. Oferă o modalitate transparentă și sistematică de a evalua variantele. Ia în considerare interde-	Necesită comparații în perechi. Este sensibilă la alegerea criteriilor. Se bazează în mare măsură pe judecăți subiective. Necesită număr mare de comparații în perechi pentru probleme cu număr mare de criterii. În acest caz, există riscul apariției de inconsecvențe și a

	pendența criteriilor. Permite verificări de consistență.	unor probleme de inversare a rangului.
DEA - Data Envelopment Analysis, (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978)	Permite luarea în considerare a eficienței variantelor. Metodă neparametrică. Ia în considerare mai multe intrări și ieșiri. Nu necesită ponderi ale criteriilor explicite.	Este sensibilă la alegerea ponderilor. Se concentrează mai degrabă pe eficiența relativă decât pe clasamentul explicit.
TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution, (Hwang & Yoon, 1981)	Poate gestiona atât date cantitative cât și calitative. Poate gestiona valori negative. Oferă o modalitate simplă de a clasifica variantele pe baza similitudinii lor cu soluția ideală. Este relativ ușor de înțeles și de implementat.	Este sensibilă la variațiile ponderilor criteriilor și metodelor de normalizare. Nu ia în considerare relațiile dintre criterii. O abatere puternică a unui indicator de la soluția ideală influențează puternic rezultatele.
PROMETHEE - Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations, (Brans, Mareschal, & Vincke, 1984)	Oferă o modalitate flexibilă de a gestiona mai multe criterii. Permite luarea în considerare a datelor calitative și cantitative. Poate încorpora diverse funcții de preferință pentru a modela preferințele factorilor de decizie. Are potențial de includere a datelor incerte.	Alegerea funcțiilor și parametrilor de preferință poate afecta rezultatele. Poate să nu fie potrivită pentru probleme de decizie cu multe criterii. Interpretarea indicilor poate necesita expertiză. Procesul de calcul este moderat complex.
OWA - Ordered Weighted Averaging, (Yager, 1988)	Oferă o modalitate flexibilă de agregare a informațiilor. Permite modelarea expresiilor lingvistice. Permite factorilor de decizie să modeleze diferite grade de optimism sau pesimism. Poate găzdui date imprecise sau incerte.	Poate fi sensibilă la alegerea parametrilor. Selectarea ponderilor poate fi subiectivă. Poate necesita efort de calcul suplimentar în special pentru un număr mare de criterii și variante.
COPRAS - Complex Proportional Assessment Method, (Zavadskas et al., 1994)	Abordează interdependența dintre criterii. Încorporează flexibilitate în modelarea preferințelor factorilor de decizie. Potrivită pentru probleme complexe de selecție IoT cu mai multe criterii. Nu necesită minimizarea criteriilor.	Este sensibilă la alegerea criteriilor. Nu gestionează valori negative. Complexitatea metodei poate crea provocări pentru utilizatorii fără experiență. Este mai puțin stabilă în cazul variației datelor în comparație cu alte metode.
CRITIC - Criteria Importance Through Intercriteria Correlation, (Diakoulaki, Mavrotas & Papayannakis, 1995)	Ia în considerare interrelațiile dintre criterii. Oferă o măsură cantitativă a importanței criteriilor. Ajută la identificarea celor mai influente criterii în luarea deciziilor. Nu este compensatorie și nu necesită compromisuri între criterii, ceea ce o face potrivită	Necesită cunoștințe de specialitate pentru a defini și analiza corelațiile intercriteriale. Poate fi sensibilă la alegerea coeficienților de corelație. Are aplicabilitate limitată la probleme de decizie cu interdependențe complexe. Este sensibilă la calitatea și cantitatea datelor.

	pentru problemele cu criterii contradictorii.	
ANP - Analytic Network Process (Saaty, 1996)	Extinde AHP luând în considerare interdependența dintre criterii. Permite modelarea rețelelor de influență. Are flexibilitate în considerarea datelor cantitative și calitative.	Conceptual și computațional este mai complexă decât AHP. Se bazează pe judecăți subiective în comparațiile în perechi. Consumul mare de date necesită informații substanțiale și expertiză.
VIKOR - VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, (Opricovic & Tzeng, 2002)	Poate gestiona atât date cantitative cât și calitative. Oferă o soluție de compromis care echilibrează criteriile conflictuale. Este utilizabilă pentru probleme cu dificultăți în exprimarea preferințelor.	Poate fi sensibilă la modificări ale ponderilor și ale pragurilor. Complexitatea crește o dată cu numărul de criterii și variante. Necesită ponderi inițiale care nu sunt egale.
MOORA - Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (Brauers & Zavadskas, 2006)	Permite luarea în considerare a datelor calitative și cantitative. Consideră atât maximizarea, cât și minimizarea criteriilor într-un singur cadru. Permite lucrul cu criterii independente.	Este sensibilă la atribuirea de ponderi. Nu ia în considerare în mod explicit interdependența criteriilor. Procesul de calcul este relativ complex.
DBA - Distance-Based Approach, (Sharma et al., 2010)	Oferă o modalitate flexibilă de agregare a informațiilor. Permite modelarea expresiilor lingvistice. Gestionează incertitudinea. Oferă o ordonare clară a variantelor în funcție de gradul de dominanță.	Poate fi sensibilă la alegerea parametrilor. Alegerea regulilor și pragurilor bazate pe dominanță poate afecta rezultatele. Complex de aplicat atunci când se confruntă cu multe criterii și variante.
MEREC - Method based on the Removal Effects of Criteria, (Keshavarz-Ghorabae et al., 2021)	Încorporează opiniile și preferințele experților. Identifică soluțiile de compromis care echilibrează criteriile. Nu necesită o ponderare numerică explicită a criteriilor.	Poate fi consumatoare de timp și de resurse. Este sensibilă la alegerea criteriilor și a ponderilor atribuite acestora.
CRADIS - Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution, (Puška et al., 2022)	Permite luarea în considerare a datelor calitative și cantitative. Oferă o modalitate directă de a capta preferințele factorilor de decizie.	Este sensibilă la alegerea ponderilor. Poate necesita eforturi ample pentru a colecta și agrega datele. Eficacitatea metodei se bazează în mare măsură pe calitatea informațiilor.

În general, fiecare metodă multi-criterială are propriile avantaje și dezavantaje atunci când este utilizată în contextul selecției IoT. Alegerea metodei depinde, în principal, de problema specifică abordată, de datele disponibile și de preferințele factorilor de decizie.

#### 4. Criterii de selecție în sisteme de tip IoT

Selectarea de dispozitive, senzori, tehnologii, aplicații, servicii și platformă IoT este o etapă critică a construirii unui sistem IoT. Selecția, în acest caz, este un proces complex care necesită o analiză atentă a unei game variate de criterii.



#### 4.1. Criterii pentru selecția dispozitivelor IoT

Selecția dispozitivelor IoT depinde de cazul de utilizare și de cerințele specifice unui sistem IoT. Metodele multi-criteriale pot ajuta la evaluarea și compararea diferitelor dispozitive pe baza mai multor criterii. Luarea în considerare a acestor criterii poate ajuta la asigurarea succesului și eficacității unui sistem IoT. Câteva dintre criteriile de care ar trebui să se țină cont în selecția dispozitivelor IoT (Ashraf et al., 2016; Galán et al., 2021; Mohammadzadeh et al., 2018; Silva & Jardim-Goncalves, 2020) sunt:

- *Funcționalitate.* Dispozitivele IoT selectate ar trebui să poată îndeplini funcțiile prevăzute, cerute de cazul de utilizare sau de aplicație.
- *Performanță.* Dispozitivele IoT ar trebui să poată funcționa cu precizie și fiabil în diferite condiții. Valorile de performanță, cum ar fi timpul de răspuns, acuratețea și precizia, pot fi utilizate pentru a evalua diferite dispozitive. Măsurile de performanță, cum ar fi puterea de procesare, memoria și capacitatea de stocare, ar trebui luate în considerare, mai ales dacă se așteaptă ca dispozitivele să proceseze sau să stocheze cantități mari de date.
- *Fiabilitate.* Dispozitivele IoT ar trebui să fie fiabile și capabile să funcționeze într-o varietate de medii și condiții fără defecțiuni. Ele ar trebui să aibă o rată scăzută de defecțiuni, iar producătorul ar trebui să ofere asistență în cazul apariției unei defecțiuni.
- *Scalabilitate.* Dispozitivele IoT ar trebui să fie capabile să gestioneze volume mari de date. Este esențial să se ia în considerare ușurința de a adăuga noi dispozitive la sistem și capacitatea dispozitivelor de a comunica între ele.
- *Securitate.* Dispozitivele IoT ar trebui să aibă caracteristici de securitate încorporate, cum ar fi: criptarea, autentificarea și controlul accesului, pentru a asigura confidențialitatea și integritatea datelor.
- *Compatibilitate.* Dispozitivele IoT ar trebui să fie compatibile cu celelalte componente ale sistemului, cum ar fi: senzorii, protocoalele de comunicație și platformele, pentru a asigura o integrare fără probleme, care să respecte standardele și să asigure un schimb de date eficient.
- *Consum de energie.* Dispozitivele IoT ar trebui să aibă un consum redus de energie pentru a prelungi durata de viață a bateriei și pentru a reduce frecvența înlocuirii acesteia. Acest lucru este deosebit de important pentru dispozitivele care sunt amplasate în locații îndepărtate sau greu accesibile.
- *Cost.* Dispozitivele IoT ar trebui să fie rentabile, ținând cont atât de costul inițial de achiziție, cât și de costul total de proprietate pe durata de viață.

#### 4.2. Criterii pentru selecția senzorilor în sisteme IoT

Senzorii sunt o componentă critică a sistemelor IoT, deoarece permit colectarea de date din mediul fizic. La selectarea senzorilor pentru un sistem IoT, ar trebui luate în considerare mai multe criterii pentru a se asigura că senzorii sunt adecvați pentru aplicația specifică. Câteva dintre aceste criterii (Radulescu & Radulescu, 2023; Zheng et al., 2019; Singh et al., 2020) sunt:

- *Tip de sensor și raza de detectare.* Diferite tipuri de senzori sunt potrivite pentru diferite aplicații. Dacă aplicația implică monitorizarea temperaturii, senzorul ar trebui să aibă un interval adecvat pentru a măsura cu precizie intervalul de temperatură necesar pentru aplicație.
- *Acuratețe și precizie.* Acuratețea se referă la cât de aproape este valoarea măsurată de valoarea reală. Precizia, pe de altă parte, se referă la cât de consistente sunt valorile măsurate atunci când aceeași măsurătoare este repetată de mai multe ori.

- *Timp de răspuns.* Timpul de răspuns al senzorului este timpul necesar senzorului pentru a detecta și a răspunde la o modificare a parametrului măsurat.
- *Calibrare.* Senzorul trebuie calibrat pentru a se asigura că oferă citiri precise și consecvente pe durata de viață. Calibrarea regulată trebuie efectuată pentru a menține acuratețea senzorului.
- *Consum de energie.* Senzorii sunt adesea alimentați cu baterii, iar consumul de energie este un factor critic în procesul de selecție.
- *Durabilitate.* Senzorii trebuie să fie suficient de durabili pentru a rezista la condiții dure de mediu, cum ar fi fluctuațiile de temperatură, umiditate și a stresului legat de medii dificile.
- *Compatibilitate cu alte componente ale sistemului.* Senzorii sunt adesea utilizați ca parte a unui sistem mai mare și este importantă compatibilitatea cu sursa de alimentare, sistemul de achiziție de date și orice alte dispozitive care pot fi conectate la senzor.
- *Cost.* Senzorul ar trebui să fie rentabil, ținând cont atât de costul inițial de achiziție, cât și de costul total de proprietate pe durata sa de viață.

### 4.3. Criterii pentru selecția tehnologiilor IoT

Există o gamă largă de tehnologii care pot fi utilizate în sistemele IoT, inclusiv protocoale de comunicare fără fir, cloud computing, edge computing, inteligență artificială și blockchain. Selectarea tehnologiilor IoT potrivite implică luarea în considerare a nevoilor și a restricțiilor specifice aplicațiilor. Câteva dintre criteriile care ar trebui luate în considerare în selecția tehnologiilor IoT (Durão et al., 2018; Mohammadzadeh et al., 2018) sunt:

- *Transmiterea datelor.* Alegerea protocolului de transmitere a datelor depinde de cantitatea și de frecvența datelor care trebuie transmise.
- *Edge computing.* Edge computing poate ajuta la reducerea latenței și la îmbunătățirea procesării în timp real, permițând ca procesarea datelor să fie efectuată local pe dispozitiv.
- *Conectivitate.* Conectivitatea se referă la modul în care dispozitivele se vor conecta la rețea. Acest lucru se poate face prin conexiuni cu fir sau fără fir, utilizând tehnologii LPWA (Low-Power-Wide-Area) precum NB-IoT, LTE-M sau LoRaWAN.
- *Cloud computing.* Cloud computing poate oferi o modalitate scalabilă și rentabilă de a stoca și procesa cantități mari de date. Acest lucru se poate face folosind platforme cloud, cum ar fi: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure sau Google Cloud Platform (GCP).
- *Securitate.* Securitatea este un aspect critic în selecția tehnologiei IoT. Importante sunt criptarea, autentificarea și controlul accesului.
- *Interoperabilitate.* Alegerea tehnologiilor care acceptă standarde și protocoale deschise poate ajuta la asigurarea interoperabilității și la evitarea blocării furnizorilor.

### 4.4. Criterii pentru selecția aplicațiilor IoT

Aplicațiile IoT sunt programe software care permit utilizatorilor să interacționeze cu sistemul IoT și să vizualizeze datele. Selectarea aplicației IoT potrivite pentru un anumit caz de utilizare necesită o analiză atentă privind scopul vizat, publicul țintă, mediul și resursele disponibile (Mashal et al., 2020; Ullah et al., 2020). Selectarea unei aplicații IoT potrivite implică evaluarea de criterii în contextul cazului specific de utilizare. Câteva dintre criteriile care ar trebui luate în considerare pentru selecția aplicațiilor IoT sunt:

- *Funcționalitate.* Funcționalitatea se referă la posibilitatea de a îndeplini funcțiile

necesare pentru cazul specific de utilizare. Aceasta include funcții precum colectarea, procesarea și vizualizarea datelor, precum și integrarea cu alte sisteme și aplicații.

- *Scalabilitate*. Scalabilitatea se referă la capacitatea aplicației de a se extinde pentru a satisface nevoile viitoare. Aceasta include capacitatea de a gestiona volume de date în creștere, de a accepta un număr tot mai mare de dispozitive și de a îndeplini cerințele în evoluție ale utilizatorilor.
- *Securitate*. Aplicația IoT ar trebui să aibă încorporate funcții de securitate robuste, cum ar fi criptarea, autentificarea și controlul accesului.
- *Utilizabilitate*. Aplicația IoT ar trebui să fie ușor de utilizat și să ofere o experiență pozitivă pentru utilizator. Aceasta include o interfață de utilizator intuitivă, vizualizare clară a datelor și suport pentru diferite dispozitive și platforme.
- *Integrare*. Aplicația IoT ar trebui să fie proiectată pentru a se integra cu alte sisteme și aplicații, cum ar fi sistemele CRM (Customer Relationship Management) sau ERP (Enterprise Resource Planning).
- *Asistență și întreținere*. Aplicația IoT ar trebui să fie ușor de întreținut și susținut, cu documentație clară, servicii de asistență și actualizări de software.
- *Cost*. Costul se referă la costul aplicației, inclusiv costul implementării, întreținerea continuă și upgrade-urile. Aplicația trebuie să ofere un raport calitate-preț și să se alinieze cu restricțiile bugetare ale implementării.

#### 4.5. Criterii utilizate pentru selecția platformelor IoT

Platformele IoT oferă o soluție cuprinzătoare pentru gestionarea diferitelor componente ale unui sistem IoT, inclusiv dispozitive, senzori, aplicații și servicii. Selectarea unei platforme adecvate IoT este esențială pentru a se asigura că sistemul funcționează eficient. Câteva dintre criteriile ce ar trebui luate în considerare pentru selecția platformelor IoT (Kondratenko et al., 2019; Silva & Jardim-Gonçalves, 2017; Ullah et al., 2020) sunt:

- *Compatibilitate cu dispozitivele și senzorii utilizați în sistemul IoT*. Se referă la acceptarea diverselor protocoale de comunicare și oferirea unei integrări ușoare cu diferite tipuri de dispozitive.
- *Scalabilitate*. Se referă la găzduirea unui număr tot mai mare de dispozitive și senzori fără a afecta performanța sistemului. Ar trebui să poată face față cantităților tot mai mari de date generate.
- *Securitate*. Platforma ar trebui să aibă caracteristici de securitate robuste pentru a proteja sistemul de atacuri cibernetice și încălcări ale siguranței datelor. Ar trebui să ofere criptare end-to-end, autentificarea datelor și controlul accesului.
- *Analitici*. Se referă la capabilități de analiză încorporate, pentru a procesa cantități mari de date generate de sistem. Ar trebui să ofere analize de date în timp real, analize predictive și instrumente de raportare pentru a extrage informații utile.
- *Personalizare*. Platforma ar trebui să fie personalizabilă pentru a satisface nevoile specifice ale aplicației. Ar trebui să permită utilizatorilor să modifice sau să dezvolte aplicații, fluxuri de lucru și interfețe cu utilizatorul pentru a se potrivi cerințelor lor.
- *Fiabilitate*. Platforma ar trebui să ofere o disponibilitate ridicată pentru a se asigura că sistemul funcționează fără întrerupere. Ar trebui să aibă mecanisme de rezervă și de recuperare pentru a gestiona defecțiunile și timpul de nefuncționare a sistemului.
- *Cost*. Costul platformei este un criteriu important, în special pentru sistemele IoT la scară mică. Platforma ar trebui să fie rentabilă, ținând cont de costul inițial de configurare, costul de întreținere continuă și costul de actualizare.

## 5. Concluzii

În articol a fost realizată o analiză privind utilizarea metodelor multi-criteriale pentru rezolvarea problemelor de selecție ce intervin în sisteme de tip IoT. A fost studiat impactul pe care subiecte ca "multi-criteria", "Internet of Things" și "selection" le-au avut în numărul de publicații de specialitate din importante baze de date recunoscute internațional (Science Direct, Springer Link, IEEE Xplore și ACM Digital Library). S-a constatat că numărul de articole din acest domeniu a crescut mult, mai ales în ultima perioadă de timp. S-a realizat o sinteză a principalelor cercetări realizate în ultimii ani privind probleme de selecție în IoT, rezolvate prin metode multi-criteriale. Aria de probleme de selecție în IoT precum și metodele multi-criteriale cele mai utilizate pentru rezolvarea acestor probleme au fost evidențiate. Pentru aceste metode s-au prezentat într-o sinteză avantajele și dezavantajele utilizării lor. Alegerea unei metode multi-criteriale pentru probleme de selecție în IoT depinde însă de natura problemei de decizie, numărul de criterii și variante, tipul criteriilor și interacțiunile între criterii, disponibilitatea și calitatea datelor, informațiile privind preferințele factorului de decizie, sensibilitatea metodei la ponderile criteriilor, transparența și interpretabilitatea rezultatelor oferite de metodă, resursele de calcul disponibile, utilizarea anterioară a metodei pentru același tip de problemă, abilitatea metodei de a realiza o analiză de sensibilitate. S-au identificat și explicat principalele criterii utilizate în probleme de selecție IoT, pe categorii: selecția dispozitivelor, selecția senzorilor, selecția tehnologiilor, selecția aplicațiilor și selecția platformelor. S-a constatat că unele dintre cele mai importante criterii ce ar trebui luate în considerare în selecție sunt: compatibilitatea cu alte componente ale unui sistem IoT, costul și securitatea. Modelele de luare a deciziilor multi-criteriale permit factorilor de decizie să înțeleagă mai bine întregul proces de evaluare și, astfel, oferă un instrument de sprijin decizional mai precis, sistematic și eficient.

## Mulțumiri

Cercetarea din cadrul acestei lucrări s-a realizat în cadrul Proiectului Nucleu PN 23 38 01 01 „Contribuții la consolidarea tehnologiilor emergente specifice Internetului Obiectelor și a sistemelor complexe” finanțat de Ministerul Cercetării, Inovării și Digitalizării în cadrul Programelor Nucleu.

## REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

ACM (Association for Computing Machinery) Digital Library. (2023) <https://dl.acm.org> [Accesat 15 martie 2023].

Ashraf, Q. M., Habaebi, M. H. & Islam, M. R. (2016) TOPSIS-Based Service Arbitration for Autonomic Internet of things. *IEEE Access*. 4, 1313-1320. doi: 10.1109/ACCESS.2016.2545741.

Baranwal, G., Singh, M. & Vidyarthi, D. P. (2020) A framework for IoT service selection. *The Journal of Supercomputing*. 76, 2777-2814. doi: 10.1007/s11227-019-03076-1.

Brans J. P, Mareschal B., Vincke, P. H. (1984) PROMETHEE - a new family of outranking methods in multicriteria analysis. *Operational Research IFORS*. 84, 477-490.

Brauers, W. K. M. & Zavadskas, E. K. (2006) The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and cybernetics*. 35, 445-469.

Chakraborty, A., Jindal, M., Khosravi, M. R., Singh, P., Shankar, A. & Diwakar, M. (2021) A secure IoT-based cloud platform selection using entropy distance approach and fuzzy set theory. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2021, 1-11. doi: 10.1155/2021/6697467.

Charnes, A., Cooper, W. W. & Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of operational research*. 2(6), 429-444. doi:10.1016/0377-2217(78)90138-8.

- Cinelli, M., Kadziński, M., Miebs, G., Gonzalez, M. & Słowiński, R. (2022) Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. *European Journal of Operational Research*. 302(2), 633-651. doi: 10.1016/j.ejor.2022.01.011.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L. (1995) Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*. 22(7), 763-770. doi: 10.1016/0305-0548(94)00059-H.
- Durão, L. F. C., Carvalho, M. M., Takey, S., Cauchick-Miguel, P. A. & Zancul, E. (2018) Internet of Things process selection: AHP selection method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 99, 2623-2634. doi: 10.1007/s00170-018-2617-2.
- Fontela, E. & Gabus, A. (1976) The DEMATEL Observer. DEMATEL 1976 Report, Battelle Geneva Research Center, Geneva.
- Galán, J., Valdez, W., Prado-Cabrera, D. & Cedillo, P. (2021) Selecting and Acquiring IoT Devices Oriented to Older People: A Systematic Literature Review. In: Salgado Guerrero, J.P., Chicaiza Espinosa, J., Cerrada Lozada, M., Berrezueta-Guzman, S. (eds), *Information and Communication Technologies: 9th Conference on Information and Communication Technologies of Ecuador, TICEC 2021. Guayaquil, Ecuador, November 24-26, 2021*. Communications in Computer and Information Science, 1456. Springer, Cham. pp. 345-361.
- Hwang, C. & Yoon, K. (1981) *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey*. Springer-Verlag, New York.
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Xplore. (2023) <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> [Accesat: 15 martie 2023].
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. & Antucheviciene, J. (2021) Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREC). *Symmetry*. 13(4), 525. doi: 10.3390/sym13040525.
- Kondratenko, Y., Kondratenko, G. & Sidenko, I. (2019) Multi-criteria decision making and soft computing for the selection of specialized IoT platform. In: Chertov, O., Mylovanov, T., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J., Kreinovich, V., Stefanuk, V. (eds), *Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information: Proceedings of the XVIII International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information, June 4-7, 2018, Kyiv, Ukraine*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 836. Springer, Cham. pp. 71–80.
- Krishankumar, R. & Ecer, F. (2023) Selection of IoT service provider for sustainable transport using q-rung orthopair fuzzy CRADIS and unknown weights. *Applied Soft Computing*. 132, 109870. doi: 10.1016/j.asoc.2022.109870.
- MacCrimmon, K. R. (1968) Decision making Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach; Research Memoranda; Rand Corporation: Santa Monica, California, USA.
- Mashal, I., Alsaryrah, O., Chung, T. Y. & Yuan, F. C. (2020) A multi-criteria analysis for an internet of things application recommendation system. *Technology in Society*. 60, 101216. doi: 10.1016/j.techsoc.2019.101216.
- Mejri, M. & Azzouna, N. B. (2017). Scalable and self-adaptive service selection method for the Internet of Things. *International Journal of Computer Applications*. 167(10), 43-49. doi: 10.5120/ijca2017914542.
- Mohammadzadeh, A. K., Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanooei, B. & Ghasemi, R. (2018) A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in Society*. 53, 124-134. doi: 10.1016/j.techsoc.2018.01.007.
- Nadhira, A. & Dachyar, M. (2020) Selection factor analysis for Internet of Things (IoT) implementation using DEMATEL based ANP and COPRAS method at the hospital intensive care

- unit (ICU). *International Journal of Advanced Science and Technology*. 29(7s), 3614-3622. <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/17662> [Accesat 15 martie 2023].
- Nunes, L. H., Estrella, J. C., Perera, C., Reiff-Marganiec, S. & Botazzo Delbem, A. C. (2017) Multi-criteria IoT resource discovery: a comparative analysis. *Software: Practice and Experience*. 47(10), 1325-1341. doi: 10.1002/spe.2469.
- Onar, S. Ç., Kahraman, C. & Öztayşi, B. (2022) IoT Platform Selection Using Interval Valued Intuitionistic Fuzzy TOPSIS. In: Kahraman, C., Tolga, A.C., Cevik Onar, S., Cebi, S., Oztaysi, B., Sari, I.U. (eds.) *Intelligent and Fuzzy Systems*. INFUS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 504. Springer, Cham. pp.870-878.
- Opricovic, S. & Tzeng, G. H. (2002) Multicriteria planning of post-earthquake sustainable reconstruction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 17(3), 211-220. doi: 10.1111/1467-8667.00269.
- Puška, A., Stević, Ž. & Pamučar, D. (2022) Evaluation and selection of healthcare waste incinerators using extended sustainability criteria and multi-criteria analysis methods. *Environment, Development and Sustainability*. 24(4), 11195-11225. doi: 10.1007/s10668-021-01902-2.
- Radulescu, C. Z., & Radulescu, M. (2023) A Hybrid Multi-Criteria Approach to the Vendor Selection Problem for Sensor-Based Medical Devices. *Sensors*. 23(2), 764. doi: 10.3390/s23020764.
- Roy, B. (1968) Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*. 2(8), 57-75.
- Saaty, T. L. (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*. 15(3), 234-281. doi: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
- Saaty, T. L. (1996) *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh, RWS publications.
- Science Direct - Journals & Books. (2023) <https://www.sciencedirect.com> [Accesat 15 martie 2023].
- Sharma, K., Garg, R., Nagpal, C. K. & Garg, R. K. (2010) Selection of optimal software reliability growth models using a distance based approach. *IEEE Transactions on Reliability*. 59(2), 266-276. doi: 10.1109/TR.2010.2048657.
- Silva, E. M. & Jardim-Gonçalves, R. (2017) Multi-criteria analysis and decision methodology for the selection of internet-of-things hardware platforms. In: Camarinha-Matos, L., Parreira-Rocha, M., Ramezani, J. (eds) *Technological Innovation for Smart Systems: 8th IFIP WG 5.5/SOCOLNET Advanced Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2017, Costa de Caparica, Portugal, May 3-5, 2017, Proceedings 8*. Springer International Publishing. pp. 111-121.
- Silva, E. M. & Jardim-Goncalves, R. (2020) IoT ecosystems design: A multimethod, multicriteria assessment methodology. *IEEE Internet of Things Journal*. 7(10), 10150-10159. doi: 10.1109/JIOT.2020.3011029.
- Silva, E. M. & Jardim-Goncalves, R. (2021) Cyber-Physical Systems: a multi-criteria assessment for Internet-of-Things (IoT) systems. *Enterprise Information Systems*, 15(3), 332-351. doi: 10.1080/17517575.2019.1698060.
- Singh, M., Baranwal, G. & Tripathi, A.K. (2020) QoS-aware selection of IoT-based service. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 45(12), 10033-10050. doi: 10.1007/s13369-020-04601-8.
- Singla, C., Mahajan, N., Kaushal, S., Verma, A., Sangaiah, A. K. (2018) Modelling and Analysis of Multi-objective Service Selection Scheme in IoT-Cloud Environment. In: Sangaiah, A. K., Thangavelu, A., Sundaram, V. M. (eds.) *Cognitive Computing for Big Data Systems Over IoT*:

Framework, Tools and Application. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 14, Springer, Cham. pp. 63-77.

Springer Link. (2023) <https://link.springer.com> [Accesat 15 martie 2023].

Tudora, E., Tîrziu, E. & Gheorghe-Moisii, M. (2021) Internet of Things în energie: tehnologii, aplicații, provocări și tendințe viitoare. *Revista Română de Informatică și Automatică (Romanian Journal of Information Technology and Automatic Control)*. 31(2), 45-58. doi: 10.33436/v31i2y202104.

Ugljanin, E., Stojanović, D., Kajan, E. & Maamar, Z. (2022) B2S4B: A Platform for Smart City Business Processes Management and Adaptation. *Studies in Informatics and Control*. 31(3), 75-86. doi: 10.24846/v31i3y202207.

Ullah, M., Nardelli, P. H., Wolff, A. & Smolander, K. (2020) Twenty-one key factors to choose an IoT platform: Theoretical framework and its applications. *IEEE Internet of Things Journal*. 7(10), 10111-10119. doi: 10.1109/JIOT.2020.3000056.

Yadav, A. K., Singh, K., Srivastava, P. K. & Pandey, P. S. (2023) I-MEREC-T: Improved MEREC-TOPSIS scheme for optimal network selection in 5G heterogeneous network for IoT. *Internet of Things*. 22, 100748. doi: 10.1016/j.iot.2023.100748.

Yager, R. R. (1988) On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*. 18(1), 183-190. doi: 10.1109/21.87068.

Zaher, M. A. & Eldakhly, N. M. (2022) An effective model for Selection of the best IoT platform: A critical review of challenges and solutions. *Journal of Intelligent Systems & Internet of Things*. 7(2), 40-50. doi: 10.54216/JISIoT.070204.

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(3), 131-139.

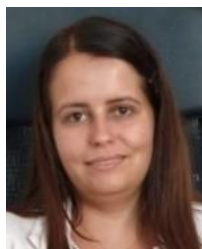
Zheng, Z., Tao, Y., Chen, Y., Zhu, F. & Chen, D. (2019) An Efficient Preference-Based Sensor Selection Method in Internet of Things. *IEEE Access*. 7, 168536-168547. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953045.

Zopounidis, C. & Doumpos, M. (2002) Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 138(2), 229-246. doi: 10.1016/S0377-2217(01)00243-0.



**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 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 8 cărți și capitole de carte publicate în edituri recunoscute din țară și străinătate, autor/coautor a peste 150 articole publicate în reviste de specialitate și proceedings-uri ale unor conferințe din țară și străinătate. A condus numeroase proiecte de cercetare câștigate prin competiție, 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/coauthor of 8 books and book chapters published in reputed 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 won through competition, research themes and grants.



**Delia Mihaela NEACȘU** este inginer, doctorandă în cadrul Universității Politehnica din București cu diplomă de licență și master în cadrul aceleiași universități. Domeniile principale de interes sunt: centre de date verzi, consum energie și performanță servere, Internetul Lucrurilor, metrice de eficiență energetică, protecția mediului, analiză și decizie multi-criterială. Este autor/coautor a 23 de articole științifice indexate în baze de date recunoscute.

**Delia Mihaela NEACȘU** is an engineer, Ph.D. student at the Polytechnic University of Bucharest with a bachelor's and master's degree at the same university. The main areas of interest are: green data centers, energy consumption and server performance, the Internet of Things, energy efficiency metrics, environmental protection, multi-criteria analysis and decision, She is the author/co-author of 23 scientific articles indexed in academic recognize.