

# Probleme de decizie: selecția furnizorilor ecologici

Electra MITAN

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București

electra.mitan@ici.ro

**Rezumat:** În cadrul IMM, dezvoltarea relațiilor cu furnizorii este o preocupare majoră a specialiștilor din domeniul achizițiilor. Selecția acestora a fost și este considerată o problemă delicată pentru organizațiile care doresc o poziție strategică în piață datorită impactului direct pe care îl are asupra fluxului de numerar și a profitabilității. Procesul de evaluare și selecție a furnizorilor este mai degrabă complicat datorită unei palete de factori de influență, combinația de criterii de selecție cantitative și calitative, numărul și diversitatea furnizorilor de-a lungul lanțului de aprovizionare etc. Gestionarea lanțului de aprovizionare ecologic înseamnă administrarea fluxurilor de fonduri, informații și produse între ele, în toate etapele acestuia pentru a găsi echilibrul corect între aspectele ecologice și cele economice. O provocare pentru IMM este separarea creșterii economice de degradarea mediului înconjurător datorată presiunilor variate, a reglementărilor de mediu tot mai stricte, dar și creșterii gradului de conștientizare a consumatorilor și schimbării de atitudine pentru cumpărarea de produse ecologice. Articolul oferă o imagine de ansamblu asupra criteriilor utilizate ca referință în problema evaluării și selecției furnizorilor; prezintă modelul MADM pentru decizie multi-criterială utilizat în problema selecției furnizorilor; un studiu de caz privind alegerea eficientă a unui echipament în condițiile utilizării de criterii verzi și non verzi.

**Cuvinte cheie:** lanțuri de aprovizionare, modelare matematică, optimizare; evaluarea furnizorilor ecologici.

## Decision problems: green suppliers selection

**Abstract:** Within the SMEs, developing relationships with suppliers is a major concern of procurement specialists. Their selection is considered a delicate problem for the organizations that want a strategic position in the market due to the direct impact on the cash flow and profitability. The process of evaluating and selecting suppliers is rather complicated due to a range of influencing factors, the combination of quantitative and qualitative selection criteria, the number and diversity of suppliers along the supply chain, etc. Managing the green supply chain means managing the flows of funds, information and products between them, in all its stages, in order to find the right balance between the ecological and economic aspects. A challenge for SMEs is the separation of the economic growth from the degradation of the environment due to the varied pressures, of the increasingly strict environmental regulations, but also of increasing the awareness of the consumers and the change of attitude for the purchase of organic products. The article gives an overview of the criteria used as a reference in the issue of supplier evaluation and selection; the MADM model for multi-criteria decision used in the problem of supplier selection is presented; a case study on the efficient choice of equipment under the conditions of using green and non-green criteria is done.

**Keywords:** Supply Chain, Mathematical Modelling, Optimization, Green Supplier Evaluation.

## 1. Introducere

Sectorul întreprinderilor mici și mijlocii (IMM) reprezintă barometrul dezvoltării economiei competitive și durabile: poate asigura evoluția uniformă prin crearea de noi locuri de muncă, creșterea contribuției de impozite nete, oferirea unui sortiment mare de bunuri / servicii / lucrări, diversificarea oportunităților economice. Fiind caracterizat de flexibilitate și capacitate de adaptare la nou, acesta reprezintă forța motrice a progresului economic.

Globalizarea a sporit provocările economice care urmăresc stimularea achiziției de bunuri, servicii, lucrări care promovează inovarea, protecția mediului și lupta împotriva schimbărilor climatice. În aceste condiții, aprovizionarea întreprinderii poate rămâne competitivă prin reducerea costurilor operaționale și poate contribui la mărirea profitului global. Din cauza gradului sporit de conștientizare a problemelor de mediu, atât sectorul public cât și cel privat se confruntă cu o presiune din ce în ce mai mare pentru a lua în considerare acest tip de probleme. Gestionarea

aprovizionării într-o manieră ecologică presupune administrarea fluxurilor de fonduri, informații și produse în toate etapele pentru a găsi echilibrul corect între aspectele de mediu și cele economice.

Aprovizionarea comportă procese de decizie complexe: cumpărarea propriu-zisă, selectarea furnizorilor, negocierea contractelor, achizițiile etc. Procesul de selecție a căpătat atenție considerabilă în vederea realizării unei strategii de achiziție eficiente, deoarece o alegere corectă a materiilor prime, produselor, serviciilor reduce costurile operaționale, îmbunătățește calitatea produselor finale, mărește profitul, îmbunătățește performanța.

În acest context, problema selecției pentru cazul când se iau în considerare criteriile ecologice și tradiționale este una care a căpătat o importanță mărită. Criteriile ecologice se referă la: emanații de substanțe toxice, etichetare ecologică, ambalare ecologică, tehnologii verzi, utilizare ecologică a resurselor, dar și la certificarea sistemului de management de mediu, politici de mediu, respectarea reglementărilor de mediu, instruirea personalului pentru sporirea gradului de conștientizare a problemelor de mediu, cota de piață (Guo et al., 2017).

În articol se prezintă după Introducere, în paragraful 2 - stadiul Cercetărilor privind decizia multi-criterială utilizată în problema selecției furnizorilor, apoi în paragraful 3 – Modelarea problemei de selecție a furnizorilor ca problemă de decizie multi-atribut, în paragraful 4 – un Studiu de caz urmat de Concluzii și referințe bibliografice.

## 2. Cercetări privind decizia multi-criterială utilizată în problema selecției furnizorilor

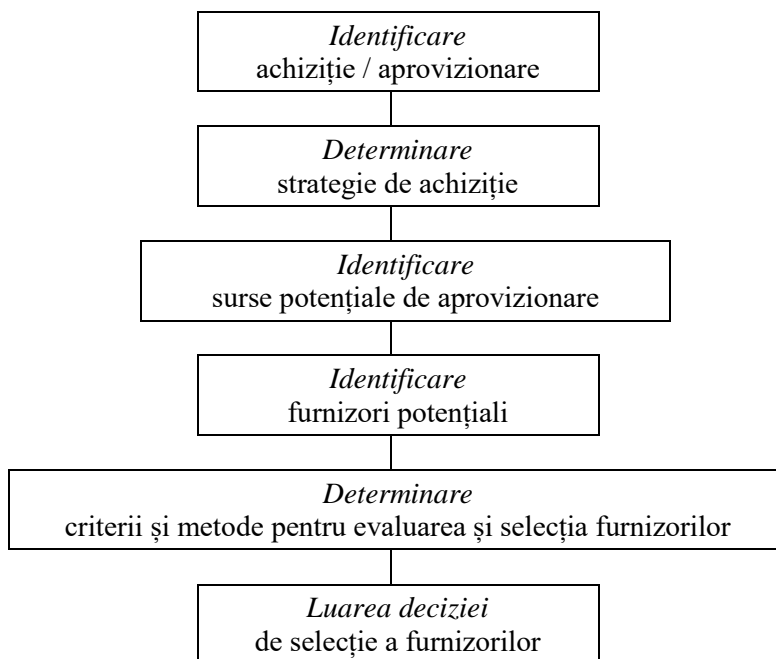
Managementul aprovizionării este acea activitate prin care se asigură elementele materiale și tehnice necesare producției unui IMM, în volumul și structura care să permită realizarea obiectivelor generale ale întreprinderii (costuri minime, profit maxim). În literatura de specialitate dar și în practica economică, sunt utilizați frecvent termenii: *achiziție*, *aprovizionare*. Achiziția este angajamentul financiar (cumpărarea de resurse materiale / produse / servicii / lucrări), fiind efectiv o tranzacție monetară, în timp ce *aprovizionarea* are un înțeles mai larg; achiziția este doar un moment al procesului complex de aprovizionare cu materii prime, materiale, echipamente tehnice.

Achiziția, ca parte a activității de aprovizionare, este precedată de activități de identificare a necesarului de materii prime și materiale, de stabilire a dimensiunii acestuia și a momentului de satisfacere (care declanșează emiterea cererii / comenzii), urmată de negocierea condițiilor de furnizare, de aducerea efectivă a resurselor materiale etc.

În prezent, IMM speră să stabilească relații de colaborare pe termen lung cu furnizorii. Prin urmare, selectarea furnizorilor este una dintre principalele părți ale deciziilor pentru gestionarea lanțului de aprovizionare. Deoarece există mulți furnizori cu multe criterii, este dificil de găsit cea mai bună modalitate de a evalua și selecta furnizorii. Prin urmare, trebuie investigate diferite metode, variabile, criterii, factori pentru a realiza selecția furnizorilor. Evaluarea furnizorilor este un proces care are ca obiective principale: reducerea tuturor costurilor de achiziție și creșterea valorii generale a achiziției (Monczka, 2009).

Evaluarea și selecția furnizorilor reprezintă o problemă delicată pentru organizațiile care doresc să aibă o poziție strategică în piață datorită impactului direct pe care îl are asupra fluxului de numerar și a profitabilității. Procesul de evaluare a furnizorilor (Figura 1) este complicat datorită diferitor rațiuni care includ o gamă variată de factori de influență, combinația de criterii de selecție cantitative și calitative, numărul și diversitatea furnizorilor de-a lungul lanțului de aprovizionare. Acestora li s-au adăugat: tendințele de creștere a externalizării și a aprovizionării din diverse locații, politicile guvernamentale și regionale complexe, obiectivele conflictuale organizaționale și ale lanțurilor de aprovizionare.

Provocarea este nu numai de a recunoaște rolul managementului și practicilor în alegerea furnizorilor cât mai degrabă dezvoltarea de strategii și abordări pentru a rezolva problema alegerii acestora, problemă cu care se confruntă profesioniștii în domeniul achizițiilor și managementul selecției furnizorilor.



**Figura 1.** Procesul de evaluare și selecție a furnizorilor

Achiziția de produse / materii prime / materiale / servicii ecologice contribuie la rezolvarea problemelor legate de mediu și anume: reducerea emisiilor de gaze toxice și cu efect de seră. Prin alegerea de produse / materii prime / materiale / servicii ecologice se eliberează substanțe mai puțin periculoase și se conservă resursele naturale. Reducerea impactului asupra mediului are ca rezultat un număr mai mic de daune cu consecințe directe asupra sănătății oamenilor. Achizițiile ecologice reprezintă un instrument important care poate fi utilizat în vederea reducerii emisiilor de dioxid de carbon; și contribuie, într-o anumită măsură, la o reducere a schimbărilor climatice. Deși acest tip de produse / materii prime / materiale / servicii poate fi mai scump la momentul achiziției, pe termen lung, folosirea acestora se poate dovedi în schimb mai avantajoasă în privința rezultatelor obținute.

Pentru analiză și evaluare se folosesc instrumente specifice, care să permită și evaluarea performanței de mediu: analiza ciclului de viață (centrată pe produs), adoptarea unui Sistem de Management de Mediu (standardul ISO 14001), a reglementărilor EMAS (Sistem European de Mediu și Audit). Se au în vedere eco-design-ul, eco-etichetarea, iar în cazul când ambalajul și eticheta unui produs sunt principalele surse de informare a consumatorului, proiectarea și fabricarea din materiale care să nu dăuneze mediului cu scopul de a nu genera substanțe toxice după consumarea / utilizarea produsului. În acest caz organizațiile adoptă alternative strategice de produs din perspectivă ecologică.

Standardul ISO 9001:200 stabilește ca esențială evaluarea, selecția și monitorizarea furnizorilor. Colaborarea cu furnizori de valoare reprezintă un element cheie al succesului unui IMM pe termen lung, dacă se iau în considerare calitatea produselor, a lucrărilor și a serviciilor furnizate către clienți, reducerea costurilor organizației și implicit creșterea profitului.

În ceea ce privește conceptul de luare a deciziilor în cazul selecției furnizorilor, o problemă principală este definirea factorilor și a criteriilor conexe. Există mai multe criterii, cum ar fi prețul, calitatea, randamentul și livrarea la timp, care pot afecta selecția celui mai potrivit furnizor.

Începând cu anii '60 s-au făcut numeroase studii despre factorii care influențează selecția furnizorilor. În diverse lucrări (Roa & Kiser, 1980), (Ellram, 1990), (Stamm & Golhar, 1993) s-au menționat 60, 18 și respectiv 13 criterii pentru selecția furnizorilor. În studiul realizat de Dickson au fost identificate 23 de criterii diferite de evaluare pentru selecția furnizorilor. Conform acestuia

(Dickson, 1966), criteriile sunt următoarele: Calitatea; Livrarea; Tradiția și istoricul performanței; Garanțiile și creanțele; Facilitățile și capacitatea de producție; Costul; Capacitatea tehnică; Poziția financiară; Conformitatea procedurilor; Sistemul de comunicare; Reputația și poziția în industrie; Intenția de afaceri; Managementul și organizarea; Controlul funcționării; Serviciile de reparații; Atitudinea; Impresia; Ambalarea; Relațiile de muncă; Locația geografică; Cifra anterioară de afaceri; Facilitățile de instruire; Aranjamentele reciproce.

La acestea se adaugă: Serviciile post-vânzare; Asistența tehnică; Răspunsul la solicitarea clienților; Facilitățile de comerț electronic; Capacitatea JIT (*Just-In-Time*); Ușurința în utilizare; Întreținerea; Produsele prietenoase cu mediul; Prezentarea produsului; Catalogul de tehnologii; Dependența (capacitatea furnizării articolelor conform comenzii, cu referire la dată, exactitate, completitudine); Flexibilitatea (posibilitatea de a modifica / revizui operațiunile de producție); Condițiile de plată; Productivitatea; Aplicabilitatea fabricării conceptuale; Puterea de conducere; Respectarea timpilor de livrare; Capacitate personalului; Orientarea către soluție; Factorii globali; Riscul de mediu (Govindan et al., 2013).

Criteriile pot fi de importanță extremă (calitatea), importanță considerabilă (costul), importanță medie (serviciile) și respectiv de importanță redusă (aranjamentele reciproce).

Criteriile ecologice sunt relative la produs (folosirea substanțelor toxice, utilizarea ecologică a resurselor, etichetare ecologică, ambalare ecologică, tehnologii verzi) și respectiv la organizație (certificarea sistemului de management de mediu, politici de mediu, respectarea reglementărilor de mediu, instruirea personalului pentru sporirea gradului de conștientizare a problemelor de mediu, cota de piață). Problema poate fi rezolvată în două cazuri. Evaluarea se poate face fie pe baza tuturor criteriilor verzi și non verzi, considerate în același timp; fie pe baza a două seturi distincte de criterii: verzi și non verzi, cu investigarea efectului separării acestora.

Costul, calitatea, performanța serviciilor, localizarea, performanța de mediu sunt cele mai importante criterii utilizate în selecția furnizorilor.

Spre exemplu, în evaluarea *Calității* se pot folosi: Rata de respingeri; Programele de îmbunătățire continuă (asigurarea calității); Managementul calității; Calitatea clienților și a serviciilor de asistență; Certificările (certIFICATELE de calitate); Procentajul livrării la timp; Nivelul tehnic și de proiectare; Ușurința cu care se fac reparații; Fiabilitatea; Capacitatea de rezolvare a defectelor de calitate; Rata de randament; Indicii pentru capacitatea de proces (îmbunătățirea proceselor); Funcția *loss* (cost); Satisfacția clienților; Compatibilitatea; Creditul de care se bucură întreprinderea. În cazul *Costului* se pot lua în considerare: Cumpărarea de materiale prietenoase; Conformitatea cu strategia sectorială a prețurilor; raportul Preț / Performanță; Costul transportului. În cazul *Livrării* se ține cont de: Frecvența comenzilor; Rata de onorare a comenzilor; Perioada de grație. Pentru *Servicii* se pot lua în considerare: Viteza de răspuns, Managementul stocurilor; Capacitatea de proiectare. Pentru evaluarea *Alianței strategice* se pot lua în considerare: Disponibilitatea de partajare a informațiilor; Capacitatea de partajare a beneficiilor și riscurilor; Capacitatea de înțelegere a obiectivelor finale și a proceselor de afaceri; Capacitatea de a construi parteneriate pe termen lung; Capacitatea de partajare a politicilor de afaceri. La *Controlul poluării* se pot lua în considerare: Deșeuri solide, Consum de energie; Utilizarea de materiale nocive. Dacă se referă *Produsele ecologice* se pot lua în considerare: Ambalarea ecologică; Reciclarea; Recondiționarea; Reutilizarea. La *Managementul de mediu* se pot lua în considerare: ISO 14001 (sistem de management de mediu); ODC (Ozone Depleting Chemicals); EuP (Energy using Products, predecesorul lui ErP - Energy-related products); RoHS (Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment); WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment) (<https://www.srac.ro>; <https://www.prbx.com>; <https://ec.europa.eu/environment>; Brown and Hart, 1992).

Există diferite abordări pentru evaluarea alternativelor în cazul utilizării de criterii verzi; se pot face evaluări cu ajutorul mai multor criterii (exclusiv ecologice, sau integrând criterii verzi și criterii non verzi) în abordări simple, cu: metode matematice sau folosind din domeniul inteligenței artificiale: rețelele neuronale artificiale, sistemele expert, mulțimile fuzzy și, de asemenea, se pot integra diferite abordări (Chai et al., 2013; Govindan et al., 2013).

Conceptul ecologic a căpătat o popularitate tot mai mare, fapt menționat și în platformele de marketing; cu toate acestea, nu se poate spune că fiecare IMM folosește criteriile verzi în procesele de selecție a furnizorilor. Datorită posibilului impact negativ asupra costurilor, IMM pot evita introducerea de criterii ecologice în procesul de selecție a furnizorilor. Pentru a depăși acest impas, autoritățile pot propune sisteme de premiere care să sprijine o mai bună protecție a mediului.

S-au evidențiat două tipuri de probleme de selecție a furnizorilor.

Primul tip este problema de selecție a furnizorilor cu aprovizionare unică, în care un singur furnizor poate satisface pe deplin cerințele întreprinderii iar întreprinderea trebuie doar să decidă pe care furnizor trebuie să îl aleagă. Rezolvarea acestei probleme poate fi făcută folosind diferite metode între care se pot aminti: TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) fuzzy, AHP (Analytical Hierarchy Process) fuzzy, rețele neuronale artificiale, VIKOR (VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje).

Al doilea tip este problema de selecție a furnizorilor cu aprovizionare din mai multe surse, caz în care un singur furnizor nu poate satisface întreaga cerere și, astfel, este necesară împărțirea comenzii între mai mulți furnizori. În acest caz, trebuie luate două decizii: să se selecteze furnizorii și să se determine cantitățile care vor fi comandate de la fiecare dintre aceștia (cantități optime supuse anumitor restricții). Pentru a echilibra relația dintre aceste criterii contradictorii, se pot utiliza abordări simple sau abordări hibrid, cum ar fi: AHP cu programarea obiectivelor, AHP cu programarea liniară, AHP cu mulțimi fuzzy (Guo et al., 2017).

În abordarea simplă, se pune accent pe soluționarea problemei de selecție a furnizorilor și pe determinarea cantităților optime supuse anumitor restricții. În cazul abordării hibride, se iau în considerare perspective strategice cu ajutorul unei tehnici de analiză SWOT cuantificată, cu programare liniară fuzzy.

### **3. Modelarea problemei de selecție a furnizorilor ca problemă de decizie multi-atribut**

Orice formulare de problemă care urmărește evaluarea unor obiecte în raport cu mai multe atribute cu alegerea obiectului optim și ordonarea obiectelor, pe baza unui procedeu care poate fi algoritmicizat, conduce în mod natural la un model MADM.

Problema deciziilor multi-criteriale presupune un proces caracterizat succint de următoarele elemente:

- mulțimea obiectelor, ce include toate variantele care pot fi evaluate / alese ca optime / ordonate;
- mulțimea atributelor, care apar ca puncte de vedere pe baza cărora se examinează problema;
- matricea decizională care face legătura între obiecte și atribute;
- mulțimea decidenților, adică individul sau grupul de indivizi care urmăresc să ia o hotărâre privind definirea modelului și rezolvarea acestuia în cele mai bune condiții;
- utilitatea pe care o așteaptă decidentul în urma alegerii unei alternative de atribute.

Sunt necesare câteva precizări pentru detalierea elementelor modelului MADM (Resteanu et al., 2007; Chai et al., 2013):

*Mulțimea obiectelor* este o mulțime discretă și finită. Ea poate avea cel puțin un element în cazul problemelor de evaluare sau cel puțin două elemente în cazul problemelor de optimizare și ordonare. Evaluarea mulțimii obiectelor este utilă pentru evidențierea evaluărilor tuturor obiectelor, asigurarea alegerii obiectului optim, crearea premisei de ordonare a obiectelor conform evaluărilor acestora.

*Mulțimea atributelor* este o mulțime discretă și finită, cu cel puțin un element, obligatoriu. Ea poate avea un grad ridicat de generalitate. Se impune o singură condiție: fiecare atribut trebuie să poată fi apreciat în raport cu fiecare obiect. Atributele pot fi exprimate cardinal (atributele se precizează prin valori aparținând mulțimii numerelor reale), ordinal (precizarea locului ocupat de un obiect în ierarhia indusă de un anumit atribut), Booleen (dacă un obiect are sau nu un anumit atribut), cuantile vagi (precizarea de manieră calitativă a atributului) sau prin variabile aleatoare (precizarea unor valori posibile ale atributului împreună cu probabilitățile asociate acestor valori).

În marea lor majoritate, metodele de rezolvare a problemei de alegere optimă operează, în ultimă instanță, exclusiv cu exprimări numerice ale atributelor. De aceea, apare ca absolut necesară introducerea unor mecanisme de transpunere numerică a exprimărilor prin cuantile vagi (fuzzy) care se realizează prin introducerea unui sistem de scale. O scală este o funcție bijectivă între mulțimea finită a cuantilelor vagi și mulțimea blocurilor de valori numerice. Trecerea la valori cardinale se face folosind abscisa centrului de greutate al blocului numeric respectiv: triunghi, trapez, altă formă de reprezentare a cuantilei vagi.

Atributele pot fi de maxim (când este considerat cu atât mai bun cu cât valoarea sa este mai mare) sau de minim (când este considerat cu atât mai bun cu cât valoarea sa este mai mică). În funcție de sens, plajele de valori ale atributelor pot fi:

- în cazul atributului de maxim, de la pesim (marginea inferioară posibilă a atributului) la optim (marginea superioară posibilă a atributului);
- în cazul atributului de minim, de la optim (marginea inferioară posibilă a atributului) la pesim (marginea superioară posibilă a atributului).

Importanța absolută a fiecărui atribut este o valoare cuprinsă în intervalul  $[0, 1]$ , suma importanțelor atributelor este egală cu 1. Elementele mulțimii importanțelor sunt mutual independente. Aceasta înseamnă că dacă un obiect are la un atribut un anumit nivel, situat în plaja lui de definiție, la un alt atribut poate avea un oarecare nivel din plaja sa de definiție. O altfel de independență este caracteristică mulțimii atributelor. Dacă pentru un obiect, valoarea unui atribut implică o dependență relațională cu valoarea unui alt atribut, aceasta nu înseamnă că pentru alt obiect dependența relațională la respectivele atribute trebuie să se mențină.

*Matricea decizională* stabilește relațiile dintre cele două entități definite mai sus, mulțimea obiectelor și mulțimea atributelor. Aceasta exprimă o funcție care asociază fiecărui obiect un vector al nivelelor atributelor, fiecare obiect din mulțimea obiectelor este evaluat prin intermediul elementelor mulțimii atributelor. Toate elementele modelului matematic prezentat sunt, în mod implicit, masive dense.

Astfel, matricea decizională este *complet definită*, fiecare atribut fiind exprimat pentru fiecare obiect. Metodele convenționale de rezolvare a problemei MADM operează în exclusivitate cu matrici decizionale complet definite. Datele corespunzătoare unei zone *incomplet definite*, dacă aceasta există, sunt utilizate, numai în cazul obținerii unui optim multiplu, în scopul realizării unor discriminații între obiectele optime.

*Mulțimea decidenților* este de obicei limitată la maxim 5 elemente, o situație cu mai mulți decidenți este foarte rară. Într-un colectiv de decidenți există, cel mai adesea, unul cu importanță mai mare decât a celorlalți și luând mai mult de 6 decidenți, unii dintre decidenți ar avea o importanță relativ mică, ei putând influența într-o foarte mică măsură soluția problemei. Dacă numărul de decidenți este mult mai mare decât 6, se pot aplica metode de rezolvare a problemei MADM prin formarea de grupuri de decidenți de 5 componenți cu agregarea soluțiilor obținute de fiecare grup.

Importanța absolută a fiecărui decident este o valoare cuprinsă în intervalul  $[0, 1]$ , suma importanțelor decidenților este egală cu 1. Conceptul de importanță relativă a decidentului desemnează o măsură a experienței și competenței acestuia exprimată prin raportare la ceilalți decidenți sau, în context mai general, locul pe care acesta îl ocupă într-o ierarhie a tuturor decidenților implicați în rezolvarea unei probleme. Într-un grup de decidenți, un anumit decident poate avea o importanță iar în alt grup, același decident poate avea o importanță diferită.

În acest moment se poate considera că modelul este cu toate componentele fundamentale definite. Acest model este referit de toate metodele de rezolvare existente în literatura de specialitate. Decidenții nu contribuie cu date în problemele generate din modelul MADM, însă importanța specificării lor este mare pentru că astfel se poate ști cine are responsabilitatea datelor din model, cine a ales metoda de rezolvare și cine își asumă rezultatele evaluărilor, optimizărilor, ordonărilor.

Problema MADM poate să comporte un grad ridicat de complexitate chiar și atunci când se au în vedere doar câteva atribute. În momentul în care numărul atributelor este mai mare, complexitatea problemei crește considerabil. Creșterea complexității derivă din faptul că, în quasi-totalitatea situațiilor reale, atributele sunt conflictuale, adică un obiect se poate situa pe un loc foarte bun în raport cu un atribut și pe un loc foarte slab în raport cu un alt atribut.

Rezolvarea unei probleme generate de un model MADM urmărește fie să se realizeze evaluarea fiecărui obiect (S1), fie să se determine obiectul optim / pesim (S2), fie să se realizeze ierarhizarea obiectelor (S3). Aceasta revine la construirea funcției de evaluare a obiectelor  $f: O \rightarrow R^+$  care corespunde conceptului de funcție de utilitate globală, introdus de J. von Neumann și O. Morgenstern. Rezolvarea unei probleme de alegere optimă implică:

*Validarea modelului* presupune verificarea corectitudinii sintactice (buna organizare a datelor în masivele definite de modelul teoretic) și semantice (datele din model reflectă realitatea unu la unu), a completitudinii (toate masivele din model sunt dense) și a credibilității (valorile atributelor pot fi asociate în realitate obiectelor modelului).

*Alegerea unui cadru matematic în rezolvarea problemei*, presupune stabilirea clasei de instrumente matematice potrivite pentru rezolvarea problemelor MADM: funcții de evaluare, calculul distanței în diverse norme, atribuirea de punctaje / scoruri.

*Rezolvarea problemei* (Hwang and Yoon, 1981; Hwang and Ling, 1987) presupune aplicarea unei metode de evaluare. Dintre acestea se pot aminti metodele: MAXIMIN, MAXIMAX, Hurwicz, non-dominanței, funcției de utilitate liniară, utilității globale, Pareto, TOPSIS, Onicescu amendată, scorurilor, diametrelor, TODIM (acronim în limba portugheză pentru Interactive Multi-Criteria Decision Making), AHP, ELECTRE, VIKOR. Majoritatea acestor metode necesită normalizarea datelor de intrare, operațiune realizată prin intermediul metodelor de tip von Neumann - Morgenstern.

## 4. Studiu de caz

Problema propusă în continuare este de alegere eficientă a unui echipament în condițiile utilizării de criterii verzi și non verzi.

Un IMM dorește să își extindă activitatea prin transformarea unei hale nefolosite în secție de producție pentru un nou produs. În acest scop a primit patru oferte pentru noul echipament ce va fi instalat în noua secție. Managerul a identificat trei atribute pe care le consideră importante pentru selectarea noului echipament: costul (considerat cel mai important factor), protecția mediului și livrarea.

Selectarea celui mai potrivit furnizor reduce costul și oferă cumpărătorului cea mai bună competență pe piață. Costul include cheltuieli de cumpărare, transport, inventar, funcționare, întreținere, energie, inspecție, livrare, securitate, comandă, deținere etc. și poate fi extins sau divizat în multe alte costuri. Evaluarea livrării trebuie să țină cont de: frecvența comenzilor, rata de onorare a comenzilor, perioada de grație.

Protecția mediului se referă la folosirea de materiale prietenoase cu mediul, adică acele materiale ce protejează mediul pe toată durata utilizării lor. Ele reduc poluarea și salvează resursele naturale includ: deșeuri solide, consum de energie / combustibil, utilizarea de materialele nocive. Pentru evaluarea protecției mediului și a livrării, managerul a utilizat valori pe o scară de la 0 (pentru cea mai proastă protecție sau fiabilitate) la 100 (pentru cea mai bună protecție sau fiabilitate). În Tabelul 1 sunt prezentate datele extrase de manager din documentațiile ofertelor.

**Tabelul 1.** Date provenite din oferte transmise de către furnizori

Variante	Caracteristici		
	Cost (unități monetare)	Protecția mediului (punctaj)	Livrare (punctaj)
Furnizor 1	90000	25	100
Furnizor 2	110000	100	15
Furnizor 3	170000	50	80
Furnizor 4	60000	20	50

Pe baza acestor evaluări se poate presupune că există o independență relativă între atribute. Managerul are dificultăți în evaluarea coeficienților de importanță pentru atribute și nu are preferințe pentru anumite variante. În această situație se utilizează metoda Hurwicz prin care se alege varianta care conduce la cea mai mare valoare a combinației liniare convexe între cel mai nefavorabil rezultat și cel mai favorabil rezultat.

Mulțimea atributelor este notată cu  $A$ , iar elementele ei cu  $a_1, a_2, a_3$ , unde  $3 = \text{card } A$ . Sensul celor trei atribute (maxim sau minim) este precizat de vectorul  $\text{sens} = (\text{minim}, \text{maxim}, \text{maxim})$ . Mulțimea variantelor este notată cu  $O$ , iar elementele ei cu  $o_1, o_2, o_3, o_4$ , unde  $4 = \text{card } O$ .

Matricea caracteristicilor decizionale este:

$$OA = \begin{pmatrix} 90000 & 25 & 100 \\ 110000 & 100 & 15 \\ 170000 & 50 & 80 \\ 60000 & 20 & 50 \end{pmatrix}$$

Pentru aplicarea metodei Hurwicz, este necesară normalizarea elementelor matricei  $OA$  și apoi, pe baza elementelor matricei caracteristicilor decizionale normalizate  $NOA = (noa_{ij})$ , se alege varianta  $o^*$  astfel încât:

$$o^* = \{ o_i \mid \max_i [\alpha \min_j noa_{ij} + (1 - \alpha) \max_j noa_{ij}] \},$$

pentru  $i = 1, \dots, 4, j = 1, 2, 3$  și  $\alpha \in [0,1]$

Pasul 1. Se calculează matricea normalizată  $NOA = (noa_{ij})$ , pentru  $i = 1, \dots, 4, j = 1, 2, 3$  folosind relația:

$$noa_{ij} = \begin{cases} \frac{\min_{1 \leq i \leq 4} oa_{ij}}{oa_{ij}}, & \text{daca } \text{sens}(j) = \text{minim} \\ \frac{oa_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq 4} oa_{ij}}, & \text{daca } \text{sens}(j) = \text{maxim} \end{cases}$$

De exemplu, valoarea normalizată a atributului  $a_1$  pentru varianta  $o_1$  este

$$noa_{11} = 60000/90000 = 0,67$$

iar valoarea normalizată a atributului  $a_3$  pentru varianta  $o_4$  este



$$\text{noa}_{43} = 50/100 = 0,5.$$

Elementele matricei normalizate NOA sunt prezentate în Tabelul 2.

Pasul 2. Pentru fiecare alternativă se construiește modelul Hurwicz prin determinarea combinației liniare convexe  $H_i$  de forma:

$$H_i(\alpha) = [\alpha \min_j \text{noa}_{ij} + (1 - \alpha) \max_j \text{noa}_{ij}] = [(\min_j \text{noa}_{ij} - \max_j \text{noa}_{ij})\alpha + \max_j \text{noa}_{ij}],$$

pentru  $i = 1, \dots, 4, j = 1, 2, 3$ .

În tabelul următor sunt prezentate rezultatele obținute după executarea pașilor 1 și 2.

**Tabelul 2.** Matricea consecințelor normalizată și modelul Hurwicz

	Atribut $a_1$	Atribut $a_2$	Atribut $a_3$	$\min_j \text{noa}_{ij}$	$\max_j \text{noa}_{ij}$	$H_i(\alpha)$
Obiect $o_1$	0,67	0,25	1	0,25	1	$-0,75\alpha + 1$
Obiect $o_2$	0,54	1	0,15	0,15	1	$-0,85\alpha + 1$
Obiect $o_3$	0,35	0,5	0,8	0,35	0,8	$-0,45\alpha + 0,8$
Obiect $o_4$	1	0,2	0,5	0,2	1	$-0,8\alpha + 1$

Pentru valori fixate de decident pentru  $\alpha \in [0, 1]$ , se determină  $\max_i H_i(\alpha)$  și se obține varianta  $o_i$  corespunzătoare. Coeficientul  $\alpha$  definește pesimismul sau optimismul decidentului.

Un decident foarte optimist este acela care alege  $\alpha = 0$ . În acest caz, metoda Hurwicz coincide cu metoda maximax. Dacă  $\alpha = 0$ , atunci  $\max_i H_i(\alpha) = \max\{1; 1; 0,8; 1\} = 1$  și variantele optime sunt  $o_1, o_2, o_4$ .

Un decident foarte pesimist este acela care alege  $\alpha = 1$ . În acest caz, metoda Hurwicz coincide cu metoda maximin. Dacă  $\alpha = 1$ , atunci  $\max_i H_i(\alpha) = \max\{0,25; 0,15; 0,35; 0,2\} = 0,35$  și varianta optimă este  $o_3$ .

Pasul 3. Se determină surclasarea variantelor pentru toate valorile lui  $\alpha \in [0, 1]$ . În acest scop, se vor rezolva  $C_m^2$  ecuații de forma  $H_i(\alpha) = H_k(\alpha)$ , pentru  $i, k = 1, \dots, 4$ .

Pentru  $m = 4$ , rezultă 6 ecuații:

$$H_1(\alpha) = H_2(\alpha) \Rightarrow 0,1\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

$$H_1(\alpha) = H_3(\alpha) \Rightarrow -0,3\alpha = -0,2 \Rightarrow \alpha = 0,67$$

$$H_1(\alpha) = H_4(\alpha) \Rightarrow 0,05\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

$$H_2(\alpha) = H_3(\alpha) \Rightarrow -0,4\alpha = -0,2 \Rightarrow \alpha = 0,5$$

$$H_2(\alpha) = H_4(\alpha) \Rightarrow -0,05\alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 0$$

$$H_3(\alpha) = H_4(\alpha) \Rightarrow 0,35\alpha = 0,2 \Rightarrow \alpha = 0,57$$

S-au obținut patru sub-intervale pentru  $\alpha$ :  $[0; 0,5]$ ,  $(0,5; 0,57]$ ,  $(0,57; 0,67]$ ,  $(0,67; 1]$ .

Pentru  $\alpha \in [0; 0,5]$  ordinea variantelor va fi  $o_1, o_4, o_2, o_3$ .

Pentru  $\alpha \in (0,5; 0,57]$  ordinea variantelor va fi  $o_1, o_4, o_3, o_2$ .

Pentru  $\alpha \in (0,57; 0,67]$  ordinea variantelor va fi  $o_1, o_3, o_4, o_2$ .

Pentru  $\alpha \in (0,67; 1]$  ordinea variantelor va fi  $o_3, o_1, o_4, o_2$ .

Rezultă că un decident optimist, pentru  $\alpha \in [0; 0,67]$  va alege varianta  $o_1$ .

## 5. Concluzii

Selecția furnizorilor ecologici prezintă interes continuu pentru cercetare datorită creșterii gradului de conștientizare în domeniul protecției mediului datorită efectului său pe termen lung asupra problemelor de afaceri și marketing. Lucrarea și-a propus să investigheze factori importanți în procesul de selecție a furnizorilor pentru cazul când se iau în considerare și criteriile ecologice. A fost analizată o problemă practică privind colaborarea pe termen lung cu partenerii dintr-un lanț de aprovizionare, pentru alegerea eficientă a unui echipament în condițiile utilizării de criterii verzi și non verzi. În procesul de alegere, criteriile verzi și criteriile non-ecologice (tradiționale) sunt acceptate ca parte a procesului de selecție a furnizorilor ecologici. Fiecare factor determinant în procesul de selecție a furnizorilor trebuie identificat și evaluat în timpul procesului de alegere. În acest context, trebuie luate în considerare atât criteriile de afaceri, cât și de mediu pentru o selecție corespunzătoare. În lucrare, criteriile alese au fost costul, protecția mediului și livrarea. Costul și livrarea sunt considerate drept criterii de afaceri iar protecția mediului este considerat drept criteriu ecologic în cadrul procesului de selecție. Evaluarea factorilor determinanți ai problemei de selecție a furnizorilor ecologici se poate realiza pe baza modelelor cu multiple criterii de luare a deciziilor. Abordarea trebuie să aibă în vedere: identificarea furnizorilor disponibili; identificarea tuturor criteriilor relevante (verzi și tradiționale); determinarea ponderilor criteriilor și a preferințelor verzi și tradiționale; modelul de optimizare; metode de rezolvare. Pentru rezolvarea problemei se poate face evaluare fie pe baza tuturor criteriilor verzi și non verzi (luate în considerare simultan), fie pe baza a două seturi distincte de criterii (ecologice și tradiționale), cu investigarea efectului separării acestora.

## Mențiuni

Prezenta lucrare are la bază parte din activitățile și rezultatele temei de cercetare PN 19370401/2019 - “Soluții noi pentru probleme complexe din domenii actuale de cercetare TIC bazate pe modelare și optimizare”, proiect ce a fost finanțat în cadrul Programului Național Nucleu 2019-2022, de către Ministerul Cercetării și Inovării, MCI.

## BIBLIOGRAFIE

1. Brown, M.S. and A. Hart, *Reducing the Use of Ozone Depleting Chemicals: The Irvine, California Ordinance*, Journal of the Air & Waste Management Association, 42:4, 429-432, DOI: 10.1080/10473289.1992.10467001, 1992.
2. Chai, J, J.N.K. Liu, E. Ngay, *Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature*. Expert System Applications 40:3872–3885, 2013.

3. Dickson GW. *An analysis of vendor selection: systems and decisions*. Journal of Purchasing; 1: pp. 5–17, 1966.
4. Ellram, L. M., *The supplier selection decision in strategic partnerships*, J. Purchasing Mater. Manage. 26 (4); pp. 8–14, 1990.
5. Guo, Z., Liu, H., Zhang, D., Yang, J., *Green Supplier Evaluation and Selection in Apparel Manufacturing Using a Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach*. Sustainability, 9, 650, 2017.
6. Govindan K., S. Rajendran, J. Sarkis, P. Marugesan, *Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review*. J Clean Prod XXX: 1–18, 2013.
7. Hwang C.L. and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A state of art Survey*, Springer Verlag, Berlin, 1981.
8. Hwang C.L. and M.J. Lin, *Group Decision Making under Multiple Criteria: Methods and Applications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York, 1987.
9. Monczka, R.M., *Purchasing and supply chain management* (4<sup>th</sup> ed). South-Western Cengage Learning, Mason, Ohio, 2009.
10. Roa, C. P. and G. E. Kiser, *Educational buyer's perception of vendor attributes*, J. Purchasing Mater. Manage. 16; pp. 25–30, 1980.
11. Resteanu, C., E. Mitan, M. Şomodi, and M. Andreica, *Distributed and parallel computing in MADM domain using the OPTCHOICE software*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Applied Computer Science (ACS'07), ISSN: 1790-5117, ISBN: 978-960-6766-15-2, Venice, Italy, November 21-23, 2007.
12. Stamm, C.L. and D.Y. Golhar, *JIT purchasing attribute classification and literature review*, Prod. Plann. Control 4 (3); pp. 273–282, 1993.
13. <https://www.srac.ro>
14. <https://www.prbx.com/about-us/standards-and-policies/>
15. [https://ec.europa.eu/environment/index\\_en.html](https://ec.europa.eu/environment/index_en.html)



**Electra MITAN** este cercetător științific în Departamentul „Modelare, Simulare, Optimizare“ în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București. A absolvit Facultatea de Matematică din cadrul Universității București. Principalele domenii de interes pentru activitatea de cercetare includ: modelare matematică, optimizare, e-business, e-learning, Big Data, Machine Learning and Statistics, dezvoltarea de sisteme informatice.

**Electra MITAN** is a scientific researcher in the "Modeling, Simulation, Optimization" Department within the National Institute for Research and Development in Informatics - ICI Bucharest. She graduated Mathematics Faculty, University of Bucharest. The main areas of interest for research activities include: mathematical modeling, optimization, e-business, e-learning, Big Data, Machine Learning and Statistics, development of computer systems.