

PATTERN-URI DE EROARE ÎN EVALUAREA DIGITALĂ PARAMETRIZATĂ LA MATEMATICĂ

Gabriela Cristina BRĂNOAEA, drd.

<https://orcid.org/0000-0003-1319-664X>

Universitatea de Stat din Moldova

Andrei BRAICOV, dr., prof. univ.

<https://orcid.org/0000-0001-6416-2357>

Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău

Tudor BRAGARU, dr., prof. univ.

<https://orcid.org/0000-0001-6356-2906>

Universitatea de Stat din Moldova

Rezumat. Articolul analizează modul în care itemii parametrizați contribuie la identificarea și stabilizarea pattern-urilor de eroare în evaluarea digitală a matematicii gimnaziale. Studiul este integrat într-un experiment pedagogic realizat pe platforma Moodle, în cadrul implementării unui Sistem Suport Inteligent. Pe baza datelor colectate din clasele V–VIII, sunt examinate evoluția performanței între încercări, consistența internă a bateriilor de teste și distribuția scorurilor. Rezultatele sugerează că variabilitatea numerică nu afectează structura cognitivă a itemilor, dar permite o analiză mai fină a dificultăților recurente și susține intervenții formative fundamentate pe date.

Cuvinte-cheie: evaluare parametrizată, modelul erorii parametrizate, feedback adaptiv, consistență internă, învățare digitală, analiză psihometrică.

ERROR PATTERNS IN PARAMETERIZED DIGITAL ASSESSMENT IN MATHEMATICS

Abstract. This paper examines how parameterized items contribute to the identification and stabilization of error patterns in lower secondary mathematics digital assessment. The study is embedded in a pedagogical experiment conducted on the Moodle platform within the implementation of an Intelligent Support System. Based on data collected from grades 5–8, the research analyzes performance evolution across attempts, internal consistency of test batteries, and score distribution. The findings suggest that numerical variability does not alter the cognitive structure of items, but enables a more refined analysis of recurrent difficulties and supports data-informed formative interventions.

Keywords: parametrized assessment, parametrized error model, adaptive feedback, internal consistency, digital learning, psychometric analysis.

1. Introducere

1.1. Fundamentare teoretică. Evaluarea competențelor matematice a evoluat de la instrumente tradiționale bazate pe probe standardizate spre medii digitale care permit colectarea, analiza și interpretarea datelor de învățare în timp real. În aceste medii, „eroarea” nu mai este doar un simptom al insuficienței, dar constituie o *sursă de informație pedagogică* utilizabilă în intervenții formativ-adaptative [15, 3].

Digitalizarea evaluării, în special mediată de platforme LMS precum Moodle, oferă capacități noi de monitorizare și analiză a răspunsurilor elevilor, caracteristice evaluării parametrizate – adică generarea automată de itemi cu variabile numerice și structură unică repetabilă [1]. Aceste date permit observarea nu doar a rezultatelor finale, dar a **pattern-urilor cognitive subiacente** sau a cauzelor recurente ale erorilor, deschizând oportunități de intervenție personalizată [14].

În literatura recentă, Braicov subliniază importanța managementului transformării educaționale în mediile matematice și informatice, evidențiind necesitatea unor instrumente care să transforme datele brute în resurse pedagogice semnificative și să susțină decizia didactică pe baza acestor pattern-uri [6]. Aceasta implică trecerea de la evaluarea pur sumativă la sisteme inteligente de suport care pot analiza nu doar dacă un elev greșește, dar *de ce* o face și *cum* poate fi sprijinit pentru o înțelegere mai profundă.

Cercetările recente evidențiază faptul că **erorile matematice** nu pot fi interpretate doar ca **discrepanțe între răspunsul așteptat și cel obținut**, dar ca expresii ale unor structuri cognitive recurente care pot fi modelate didactic [12]. Acest punct de vedere este consolidat de lucrarea [8], care arată că pattern-urile eronate recurente observate în itemii parametrizați reflectă adesea dificultăți conceptuale profunde, și nu doar greșeli izolate cauzate de valori numerice sau factori externalizați.

De asemenea, lucrarea [4] subliniază necesitatea unei abordări metodologice integrate care să combine analiza cantitativă a rezultatelor cu interpretarea calitativă a proceselor cognitive ale elevilor. Această integrare este esențială atunci când **eroarea este utilizată ca un element diagnostic** și nu doar ca un verdict asupra performanței.

1.2. Clarificări terminologice. În cadrul prezentei cercetări, termenii utilizați au un caracter operațional derivat din arhitectura *Sistemului Suport Inteligent (SSI)* implementat pentru matematica gimnazială. SSI este definit ca un **ecosistem digital integrat** care susține procesul de predare – învățare – evaluare prin configurarea avansată a platformei Moodle și integrarea unor tehnologii FOSS (*STACK, Maxima, WIRIS, H5P*), într-un cadru unitar [7, 9]. Conceptul de *sistem* exprimă interdependența funcțională dintre banca de itemi parametrizați, evaluarea simbolică, mecanismele de feedback adaptiv și modulele de analiză statistică, generând proprietăți emergente de tip sinergic. Dimensiunea de *suport* reflectă rolul acordat tuturor actorilor educaționali: profesorului – prin instrumente de creare și analiză a testelor parametrizate; elevului – prin antrenament repetitiv cu variații controlate și feedback în timp real; managementului – prin rapoarte analitice fundamentate pe date [6]. Caracterul *intelligent* al sistemului vizează automatizarea evaluării prin itemi standardizați reutilizabili și evaluare etapizată pe baza șabloanelor parametrizate, în consonanță cu literatura privind evaluarea simbolică asistată de calculator [16].

Componenta pedagogică centrală este reprezentată de *REDI (Resurse Educaționale Digitale Inteligente)*, organizate ierarhic conform curriculumului gimnazial și incluzând

glosare tematice, aplicații interactive, baterii de teste formative și sumative, precum și jocuri educaționale generative. În această arhitectură, *itemul parametrizat* desemnează un exercițiu digital construit pe baza unui șablon conceptual unic, în care variabilele numerice sau algebrice sunt controlate algoritmic, menținând invariabil constructul cognitiv evaluat. Această structură permite generarea de ***istanțe distincte ale aceleiași probleme*** pentru fiecare elev și la fiecare tentativă, asigurând echitate evaluativă și robustețe psihometrică [8, 1].

Noutatea demersului constă în integrarea coerentă a itemilor parametrizați, evaluării simbolice și feedbackului adaptiv într-un model didactic unitar, care transformă evaluarea digitală din instrument de măsurare într-un ***mecanism de diagnostică și intervenție pedagogică diferențiată***. În acest sens, SSI realizează o replicare digitală funcțională a rolului profesorului în generarea de sarcini echivalente, analiza erorilor și reglarea progresivă a învățării, contribuind la optimizarea evaluării matematice la nivel gimnazial.

Evaluarea parametrizată oferă câteva avantaje majore:

- permite generarea nelimitată de teste echivalente;
- reduce riscul de copiere sau fraudă prin unicitatea fiecărei instanțe;
- oferă posibilitatea colectării de date longitudinale valide pentru învățarea diferențiată [1];
- și, poate cel mai relevant, permite descoperirea de ***pattern-uri recurente ale erorilor***, independente de valorile numeric parametrizate [14].

În această paradigmă, eroarea nu mai este un rezultat final, dar un element de analiză. Dacă aceleași tipare eronate apar în multiple instanțe de testare parametrizată, aceasta sugerează faptul că există o schemă cognitivă stabilă care poate fi intervenită pedagogic. Acest concept de ***pattern cognitiv digital de eroare*** are implicații profunde pentru evaluarea formativă și personalizarea învățării. Braicov [5, 6] argumentează că tehnologiile digitale de evaluare trebuie să fie integrate într-un ciclu de analiză – feedback – intervenție care permite profesorilor să identifice nu doar nivelul de performanță, dar să înțeleagă și să corecteze pattern-urile de eroare. În consecință, ***evaluarea devine un instrument de învățare continuă***.

Evaluarea sumativă oferă o fotografie a performanței, dar nu direcționează în mod eficient învățarea viitoare. În schimb, evaluarea adaptivă, alimentată de date automate, permite:

- feedback imediat și specific [2];
- ajustarea sarcinilor către nivelul real al elevului;
- personalizarea traseului de învățare [11].

Această schimbare paradigmatică, susținută de sisteme de suport inteligent, transformă procesul evaluativ într-un mecanism de autoreglare, în care eroarea devine o resursă valoroasă de informație pentru progresul cognitiv.

1.3. Problematica cercetării. Deși literatura recentă privind evaluarea digitală parametrizată și analitica educațională evidențiază potențialul generării automate de itemi și al colectării de date în timp real [1, 14], lipsește o operaționalizare empirică a modului în care datele privind eroarea pot fi transformate într-un **model explicativ aplicabil în intervenții adaptive concrete**. Prezentul studiu răspunde acestor lacune prin următoarele obiective:

- (1) Identificarea și clasificarea pattern-urilor de eroare independente de variabilitatea numerică;
- (2) Corelarea acestora cu structuri cognitive și competențe curriculare;
- (3) Formularea și validarea empirică a unui model operațional – *Error Pattern Model (EPM)* – integrabil într-un Sistem Suport Inteligent (SSI).

Astfel, obiectivele studiului depășesc nivelul descriptiv și vizează modelarea cognitivă a erorii în contextul evaluării parametrizate.

Ipoteza centrală formulată este următoarea: „În evaluarea digitală parametrizată, pattern-urile de eroare sunt independente de variabilitatea numerică și reflectă structuri cognitive stabile, susceptibile de a fi utilizate pentru intervenție pedagogică adaptivă. Această ipoteză derivă din două premise teoretice complementare:

- Evaluarea parametrizată permite generarea de instanțe multiple ale aceleiași construct cognitiv, menținând structura conceptuală unică, constantă [1];
- Sistemele suport inteligente pot transforma datele colectate în informații pedagogice relevante pentru decizia didactică [6, 8].

Validarea ipotezei presupune demonstrarea persistenței unor tipare eronate recurente, indiferent de variația numerică a itemilor.

2. Metode și materiale utilizate

2.1. Designul cercetării. Studiul adoptă un **design mixt** (cantitativ – calitativ), de tip **exploratoriu – explicativ**, integrat într-un experiment pedagogic desfășurat în cadrul implementării unui *Sistem Suport Inteligent* pentru matematica gimnazială [7].

SSI a fost implementat pe platforma Moodle și a integrat, într-o arhitectură coerentă, **itemi parametrizați**, mecanisme automate de feedback, rapoarte analitice granulare și instrumente de **profilare a performanței pe competențe**. Conform direcțiilor actuale din cercetarea educațională digitală, analiza pattern-urilor de eroare a fost realizată *post-hoc*, utilizând datele generate automat de sistem, într-o abordare specifică paradigmei **learning analytics** [6]. Această perspectivă permite trecerea de la evaluarea punctuală a performanței la identificarea regularităților structurale în comportamentul de rezolvare.

Experimentul pedagogic, desfășurat în anul școlar 2024–2025, a fost organizat în patru etape succesive – **pre-test, intervenție digitală asistată de SSI, post-test și re-test** – pentru a permite evaluarea progresului și a retenției. Eșantionul a inclus $N = 129$ elevi din

clasele V–VIII, implicați în utilizarea sistematică a resurselor digitale integrate. În total, au fost elaborați 755 itemi, dintre care peste 51% parametrizați, generând mii de instanțe algoritmice distincte prin variabilitate numerică controlată.

Itemii parametrizați au fost construiți astfel, încât **structura cognitivă să rămână constantă**, iar parametrii numerici să varieze aleatoriu sau condiționat logic, permițând detectarea algoritmică a răspunsurilor eronate frecvent. Această arhitectură a făcut posibilă o **analiză transversală inter-clasă**, o analiză longitudinală între încercări succesive și o comparație sistematică între itemii standard și cei parametrizați. Persistența anumitor tipare de eroare, independent de variația numerică a datelor, a oferit indicii privind stabilitatea pattern-urilor cognitive, în acord cu cercetările recente privind regularitățile algoritmice în evaluarea digitală [5, 6].

Datele au fost extrase din rapoartele Moodle (*Quiz Statistics, Item analysis*), din *log-urile STACK* aferente răspunsurilor simbolice, din *Gradebook* și modulele *Analytics*, fiind corelate cu competențele curriculare și nivelurile cognitive definite în taxonomia revizuită a lui *Anderson & Krathwohl* (2001). Indicatorii psihometrici analizați au inclus rata de răspuns corect/greșit, deviația standard, indicele de discriminare și consistența internă a testelor. Majoritatea itemilor s-au încadrat în intervalul optim de dificultate (50–80%), cu indici de discriminare pozitivi, confirmând **validitatea constructului evaluativ și robustețea parametrizării algoritmice**.

În conformitate cu cadrul metodologic al dezvoltării resurselor digitale educaționale [4], fiecare item a fost proiectat cu raportare explicită la o competență specifică și la un nivel cognitiv determinat. Integrarea mecanismului ciclic **rezolvare – detectare automată – feedback adaptiv – re-evaluare** transformă evaluarea într-un proces autoreglabil, susținând funcția formativă a feedbackului [10]. Astfel, evaluarea digitală parametrizată depășește funcția sumativă tradițională și devine un instrument de diagnoză și intervenție, capabil să transforme eroarea într-un indicator predictiv al dificultăților conceptuale.

2.2. Procedura de identificare a pattern-urilor. Analiza a fost realizată în patru etape succesive:

Etapa 1 – Agregarea datelor. Centralizarea tuturor variantelor greșite în funcție de tipul itemului, generarea parametrizată și nivelul cognitiv.

Etapa 2 – Detectarea regularităților. Identificarea erorilor recurente care apăreau în peste 20% din răspunsurile greșite. Pragul de 20% a fost stabilit ca valoare operațională minimă pentru a diferenția erorile accidentale de regularitățile cognitive stabile. În analiza itemilor educaționali, frecvențele peste 15–25% sunt considerate indicatori ai unor dificultăți sistematice și nu simple variații aleatoare, în special în eșantioane peste 100 de subiecți. În contextul prezentului studiu (N=129), acest prag a permis identificarea pattern-urilor robuste fără a supra-generaliza erori marginale.

Etapa 3 – Clasificarea cognitivă. Erorile au fost grupate în:

- erori procedurale;
- erori conceptuale;
- erori de transfer între reprezentări;
- erori de calcul automatizat;
- erori metacognitive.

Această clasificare este congruentă cu abordările recente privind modelarea cognitivă în evaluarea digitală [8].

Etapa 4 – Validare prin triangulare. Pattern-urile identificate au fost comparate cu observațiile profesorului, corelate cu feedbackul elevilor și analizate în raport cu evoluția performanței între încercări. Pentru validarea consistenței pattern-urilor au fost utilizați următorii indicatori:

- frecvența relativă a erorii;
- persistența între încercări succesive;
- corelația cu scorul global;
- reducerea erorii după feedback automat;
- distribuția în funcție de nivelul cognitiv.

Un pattern a fost considerat semnificativ dacă:

- apărea în generații numerice diferite ale aceluiași item;
- prezenta stabilitate inter-clasă;
- se menținea statistic în runde succesive de evaluare.

Prin această configurație metodologică, cercetarea fundamentează empiric ideea că **SSI operează simultan ca mediu de învățare, sistem de evaluare și mecanism de analiză predictivă**, oferind un cadru integrat pentru investigarea și modelarea pattern-urilor cognitive în matematica gimnazială.

2.3. Tipologia pattern-urilor de eroare identificate în evaluarea digitală parametrizată la matematică. Analiza datelor generate în cadrul SSI integrat cu REDI pe platforma Moodle a evidențiat existența unor pattern-uri de eroare stabile, independente de valorile numerice parametrizate ale itemilor. Această constatare este esențială din perspectivă teoretică, întrucât demonstrează că eroarea matematică în mediu digital nu este un fenomen accidental sau strict dependent de particularitățile numerice ale sarcinii, dar reflectă structuri cognitive recurente, detectabile prin agregarea algoritmică a datelor [7, 8].

În acord cu literatura recentă privind evaluarea asistată de calculator în matematică [13], variabilitatea numerică introdusă prin itemii parametrizați nu fragmentează structura erorii, dar, dimpotrivă, permite testarea robusteții acesteia. Stabilitatea răspunsurilor eronate în contexte numerice diferite oferă un cadru empiric solid pentru identificarea regularităților cognitive.

2.3.1. Pattern-uri procedurale. Prima categorie identificată este reprezentată de pattern-urile procedurale, care au înregistrat cea mai mare frecvență în bateriile

parametrizate. Acestea se caracterizează prin aplicarea mecanică a unui algoritm fără control conceptual adecvat, omiterea unor pași intermediari sau inversarea ordinii operațiilor. În mod constant, datele experimentale au evidențiat erori precum: *nerespectarea ordinii operațiilor în expresii algebrice, eliminarea incorectă a parantezelor sau pierderea semnului negativ în transformări succesive*.

Faptul că aceste erori apar în generații numerice diferite ale aceluiași item indică existența unei automatizări superficiale, nu a unei necunoașteri totale. Elevul activează o schemă procedurală relativ stabilă, însă insuficient monitorizată metacognitiv. Acest rezultat este compatibil cu literatura privind rolul feedback-ului în reglarea proceselor de învățare [15] și confirmă potențialul evaluării parametrizate de a evidenția stabilitatea algoritmică a comportamentului rezolutiv [8].

2.3.2. Pattern-uri conceptuale. A doua categorie majoră este reprezentată de pattern-urile conceptuale, care reflectă existența unor concepții alternative sau a unor structuri cognitive incomplete. Spre deosebire de erorile procedurale, acestea nu sunt rezultatul unei omisiuni de calcul, dar al unei înțelegeri conceptuale insuficient consolidate. Printre exemplele recurente se numără: *tratarea fracțiilor ca numere naturale în operațiile de adunare, confuzia între proporționalitate directă și inversă sau aplicarea eronată a regulilor de calcul*.

Persistența acestor erori chiar și după primul feedback automat sugerează că ele nu pot fi corectate prin simpla expunere la răspunsul corect, dar necesită intervenție explicativă suplimentară. În acest sens, evaluarea parametrizată funcționează ca instrument de detectare a stabilității concepțiilor alternative, iar analiza longitudinală a încercărilor succesive permite observarea dinamicii restructurării cognitive [1].

2.3.3. Pattern-uri de reprezentare. Un al treilea tip de regularitate identificată privește dificultățile de conversie între reprezentări. Datele colectate au evidențiat frecvent erori în transformarea enunțului verbal în expresie algebrică, interpretarea incorectă a coeficientului într-o funcție liniară sau confuzia dintre reprezentarea tabelară și cea grafică. Aceste pattern-uri au fost mai frecvente la itemii care solicitau niveluri cognitive superioare, precum aplicarea și transferul, ceea ce sugerează o relație directă între complexitatea reprezentării și sarcina cognitivă implicată.

Sistemele de evaluare simbolică precum STACK permit analiza exactă a expresiilor introduse de elev, oferind o granularitate dificil de obținut în evaluarea tradițională [16]. În cadrul SSI implementat, această granularitate a făcut posibilă identificarea stabilității erorilor de reprezentare în contexte numerice diferite.

2.3.4. Pattern-uri metacognitive. Analiza log-urilor și a comportamentului de răspuns a evidențiat și existența unor pattern-uri metacognitive. Abandonul prematur, răspunsul impulsiv la prima încercare sau lipsa verificării rezultatului au constituit manifestări recurente, mai ales în fazele inițiale ale experimentului. Interesant este faptul că frecvența

acestora s-a redus progresiv după activarea feedback-ului explicativ, ceea ce indică dezvoltarea autoreglării.

Această transformare susține ideea că evaluarea digitală parametrizată poate funcționa ca mecanism de învățare autoreglată, nu doar ca instrument de măsurare [2].

2.3.5. Pattern-uri de supra-generalizare. O categorie distinctă, cu valoare diagnostică ridicată, a fost reprezentată de pattern-urile de supra-generalizare. Elevii aplicau reguli valide în contexte neadecvate, precum distribuirea incorectă a ridicării la pătrat sau simplificarea nejustificată a expresiilor raționale. Aceste erori indică existența unei structuri cognitive parțial consolidate, dar organizate incorect. În termeni pedagogici, ele reflectă cunoaștere procedurală fără delimitare condițională clară. Identificarea pattern-urilor permite:

- proiectarea de feedback specific tipului de eroare;
- generarea de exerciții remediale țintite;
- dezvoltarea unui profil cognitiv al clasei;
- fundamentarea intervențiilor diferențiate.

Astfel, evaluarea digitală parametrizată devine **instrument de măsurare, mecanism de diagnoză și suport pentru autoreglare**.

2.4. Modelul explicativ EPM (Error Pattern Model). În baza analizei realizate în cadrul SSI – REDI implementat pe platforma Moodle, este realizat un model explicativ operațional EPM, un cadru integrat de transformare a erorii din indicator evaluativ în mecanism adaptiv de învățare. Modelul este organizat în 4 niveluri succesive:

Nivelul 1 – Detecție automată. Prin rapoartele analitice din platformă se realizează: identificarea frecvenței răspunsurilor greșite, analiza distribuției variantelor eronate și detectarea erorilor persistente între încercări.

Nivelul 2 – Clasificare cognitivă. Pattern-ul detectat este încadrat într-o tipologie: procedural, conceptual, de reprezentare, metacognitive sau de supra-generalizare.

Nivelul 3 – Corelare curriculară. Pattern-ul este asociat cu: competența specifică vizată, nivelul cognitiv (reproducere, aplicare, transfer) și domeniul matematic implicat.

Nivelul 4 – Intervenție adaptivă. Pe baza clasificării, sistemul generează: feedback explicativ specific erorii, itemi suplimentari cu dificultate ajustată, exerciții remediale tematice sau recomandări pentru profesor.

Pentru a clarifica relațiile funcționale dintre componentele modelului, *Figura 1* prezintă schema operațională a EPM.

Modelul funcționează ciclic: Elevul rezolvă un item parametrizat → Sistemul detectează eroarea → Pattern-ul este clasificat → Se oferă feedback adaptiv → Se re-evaluează progresul la următoarea iterație. Astfel, evaluarea devine un proces autoreglabil, nu un moment static de măsurare.

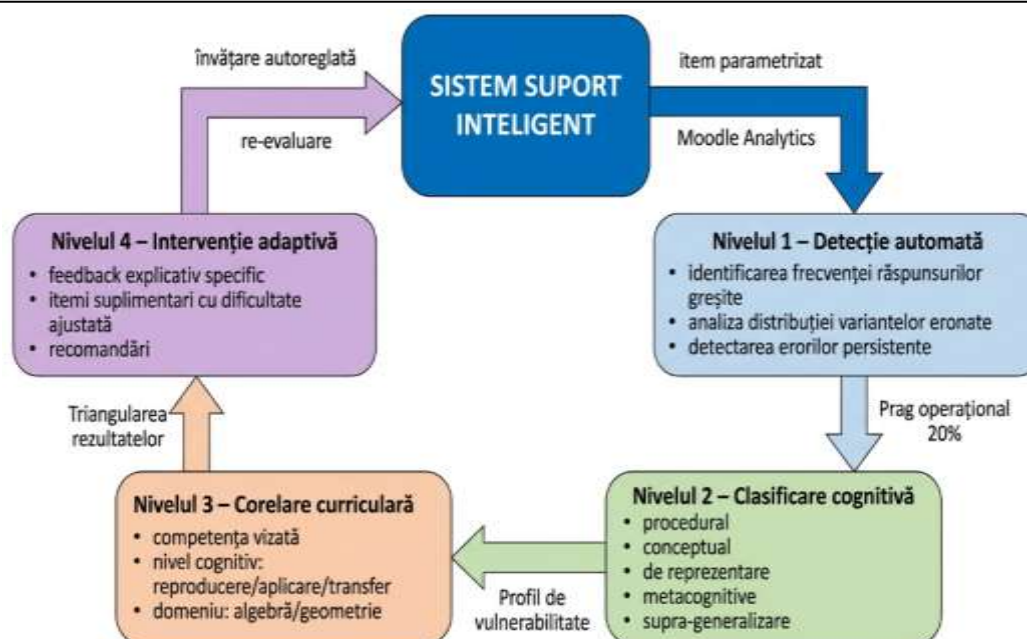


Figura 1. Schema operațională a Error Pattern Model (EPM)

3. Rezultate obținute și discuții

Analiza cantitativă a fost realizată pe baza rapoartelor statistice generate automat de platforma Moodle, utilizând indicatorii standard furnizați de modulul Quiz Statistics (a se vedea Tabelul 1).

Tabel 1. Indicatori psihometrici sintetici ai bateriilor de teste parametrizate

Clasa	Media primei încercări (%)	Media ultimei încercări (%)	Δ Progres (%)	α mediu	Deviație standard (%)	Raport mediu de eroare (%)
V	83,66	91,86	+8,20	74,26	16,06	49,55
VI	86,68	88,54	+1,86	67,57	12,84	55,28
VII	74,36	79,45	+5,09	71,87	15,67	49,11
VIII	77,77	82,15	+4,38	81,09	16,37	39,27

Analiza comparativă evidențiază un progres consistent între prima și ultima încercare în toate clasele gimnaziale, cu un Δ mediu situat între +1,86% și +8,20%, ceea ce confirmă funcția formativă a evaluării parametrizate. Creșterea performanței este mai pronunțată în clasele V și VII, sugerând o influență mai puternică a feedback-ului adaptiv în fazele de consolidare conceptuală timpurie.

Coeficientul mediu de consistență internă (α) se situează între 0,67 și 0,81, cu valori optime în clasele a VIII-a, ceea ce confirmă robustețea constructului evaluativ și stabilitatea parametrizării algoritmice. Deviațiile standard moderate indică o dispersie controlată a performanței, compatibilă cu diferențierea reală a nivelului elevilor.

Raportul mediu de eroare, mai redus în clasele superioare, sugerează o internalizare progresivă a strategiilor rezolutive și o diminuare a pattern-urilor recurente prin intervenție adaptivă.

Aceste rezultate susțin ipoteza conform căreia variabilitatea numerică nu fragmentează structura cognitivă a erorii, dar permite identificarea și monitorizarea stabilității acesteia prin agregare statistică.

Validarea modelului explicativ EPM. Un rezultat central al cercetării constă în demonstrarea stabilității acestor pattern-uri în condiții de variabilitate numerică. Ele apar în generații diferite ale aceluiași item, persistă între clase și se reduc gradual în urma feedback-ului adaptiv. Deviațiile standard comparabile între instanțe parametrizate și consistența internă ridicată a bateriilor (α frecvent $> 0,80$) confirmă coerența constructului evaluativ și robustețea modelării erorii. Aceste constatări validează ipoteza conform căreia variabilitatea numerică nu anulează regularitatea cognitivă, dar o face mai vizibilă prin agregare statistică. Modelul EPM poziționează eroarea matematică digitală nu ca deficit, dar ca resursă strategică pentru personalizarea învățării. Datele empirice susțin modelul explicativ formulat anterior, astfel:

- Persistența unor deviații standard comparabile în contexte parametrizate indică stabilitatea pattern-urilor cognitive.
- Creșterea sistematică între prima și ultima încercare demonstrează internalizarea corecțiilor.
- α ridicat în bateriile parametrizate confirmă coerența constructului evaluativ.

Prin urmare, evaluarea digitală parametrizată nu doar măsoară performanța, dar permite identificarea structurilor cognitive stabile, ceea ce validează conceptual existența pattern-urilor de eroare.

Rezultatele studiului susțin o ***schimbare de paradigmă***: în contextul evaluării digitale parametrizate, eroarea nu mai reprezintă exclusiv un indicator al performanței scăzute, dar devine un construct diagnostic cu valoare formativă. Prin aplicarea modelului EPM, eroarea este detectată automat, analizată sistemic, clasificată cognitiv și transformată în intervenție adaptivă. Această abordare depășește modelul tradițional al corectării post-factum și poziționează evaluarea ca mecanism activ de reglare a învățării. Contribuția majoră constă în conceptualizarea pattern-ului de eroare digitală ca unitate de analiză didactică. Cercetarea demonstrează că itemii parametrizați, implementați în Moodle, nu generează doar variabilitate numerică, dar permit:

- detectarea regularităților cognitive independente de valori;
- analiză comparativă între generații succesive;
- evidențierea stabilității structurilor de eroare.

Astfel, evaluarea parametrizată nu este doar un instrument de securizare a testării (reducerea fraudei), dar și un cadru solid de analiză a mecanismelor cognitive implicate în rezolvare. Această perspectivă extinde literatura din didactica matematicii prin integrarea analiticii educaționale în studiul erorii.

Datele indică faptul că feedbackul automatizat reduce persistența erorilor procedurale, stimulează verificarea soluțiilor și determină ajustări între încercări succesive. Se conturează astfel o relație directă între pattern-ul de eroare, feedback-ul specific și progresul autoreglat. Articolul aduce contribuția teoretică a corelării explicite între evaluarea parametrizată și dezvoltarea competențelor metacognitive în matematică.

Prin agregarea datelor pe itemi parametrizați, devine posibilă:

- anticiparea tipurilor de dificultăți;
- identificarea zonelor de vulnerabilitate curriculară;
- modelarea riscului de stagnare cognitivă.

Această dimensiune deschide trecerea de la evaluarea descriptivă la evaluarea predictivă bazată pe analitică educațională. Contribuția articolului constă în **articularea acestei treceri într-un model operațional aplicabil în practică**. Rezultatele obținute indică trei direcții majore:

- Proiectarea itemilor trebuie să includă anticiparea tipologiilor de eroare;
- Feedback-ul trebuie construit diferențiat în funcție de natura erorii;
- Analiza datelor trebuie integrată sistematic în planificarea remedială.

Astfel, profesorul devine interpret al datelor, designer de intervenții și facilitator al autoreglării, iar evaluarea digitală parametrizată susține un model de predare bazat pe evidențe.

Limitări ale cercetării. Deși rezultatele obținute susțin stabilitatea pattern-urilor de eroare în condiții de variabilitate numerică parametrizată, studiul prezintă anumite limitări care trebuie asumate explicit. În primul rând, designul experimental și desfășurarea cercetării într-o singură instituție limitează generalizarea rezultatelor la nivel național sau internațional. În al doilea rând, analiza este dependentă de infrastructura tehnologică Moodle–STACK, iar transferabilitatea modelului EPM către alte platforme LMS necesită cercetări și validări suplimentare.

4. Concluzii

Prezentul studiu a demonstrat că, în cadrul evaluării digitale parametrizate, variabilitatea numerică nu anulează regularitatea cognitivă, dar permite identificarea prin agregare statistică a unor pattern-uri stabile de eroare. Realizarea etapelor modelului EPM – detecție automată, clasificare cognitivă, corelare curriculară și intervenție adaptivă – a confirmat ipoteza centrală conform căreia pattern-urile de eroare sunt independente de parametrizarea numerică și reflectă structuri cognitive persistente.

Din perspectivă teoretică, cercetarea contribuie la extinderea paradigmei evaluării formative prin integrarea analiticii educaționale într-un model explicativ operațional. Eroarea digitală este reconceptualizată ca indicator predictiv al dificultăților conceptuale, ceea ce permite trecerea de la evaluarea descriptivă la evaluarea adaptivă și anticipativă.

Din perspectivă aplicativă, modelul EPM oferă un cadru replicabil pentru proiectarea sistemelor de suport inteligent, capabile să transforme datele brute în intervenții pedagogice diferențiate. Totodată, rezultatele sugerează necesitatea dezvoltării unor mecanisme automate de clasificare a erorilor și a unor modele predictive bazate pe analiză longitudinală.

În ansamblu, studiul fundamentează empiric ideea că evaluarea digitală parametrizată poate deveni un instrument strategic de modelare cognitivă și reglare adaptivă a învățării matematice, poziționând eroarea nu ca deficit, dar ca resursă epistemică pentru personalizarea procesului educațional.

Bibliografie

1. ASTAFIEVA, M. M.; HLUSHAK, O. M.; LYTUVYN, O. S. Using STACK to support adaptive mathematics learning in LMS Moodle. În: *Proceedings of the 4th Workshop on Digital Education and Learning Technologies (DELT-2024)*, 2024, 3781, pp. 12–19.
2. BARANA, A.; MARCHISIO, M.; SACCHET, M. Interactive feedback for learning mathematics in a digital learning environment. În: *Education Sciences*, 2021, 11(6), 279. doi:10.3390/educsci11060279.
3. BLACK, P.; WILIAM, D. Developing the theory of formative assessment. În: *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 2009, 21(1), pp. 5–31. doi:10.1007/s11092-008-9068-5.
4. BRAGARU, T.; ARNĂUT, V. *Dezvoltarea resurselor educaționale digitale: Cadrul metodologic*. Chișinău: CEP USM, 2017. 204 p. ISBN 978-9975-71-932-2.
5. BRAICOV, A. Comunitatea digitală – mediu de formare profesională continuă a profesorilor de matematică. În: *Proceedings of the 29th Conference on Applied and Industrial Mathematics, Education CAIM 2022, Chisinau, Moldova, August 25-27, 2022*. pp. 78-86.
6. BRAICOV, A. Transformational risk management in mathematics and IT education in the Republic of Moldova. În: *Acta et Commentationes, Sciences of Education*, 2024, 37(3), pp. 29–37.
7. BRĂNOAEA, G. C. Intelligent support system applied to school mathematics lessons. În: *The Scientific Bulletin Addendum*, 2023, 8, pp. 219–227. Available at: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/23p-219-227.pdf
8. BRĂNOAEA, G. C. Parametric assessment in Moodle for improving mathematical performance in middle school. În: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe ale Educației)*, 2025, 185(5), pp. 113–123. doi:10.59295/sum5(185)2025_13
9. BRĂNOAEA, G. C.; BRAGARU, T. Curs digital Matematica Gimnazială Bacău. Moodle USM, 2024. Available at: <https://moodle.usm.md/course/view.php?id=7134>

10. BRĂNOAEA, G. C.; BRAGARU, T. Validarea unui sistem suport inteligent pentru evaluarea automatizată la matematică prin analiza feedback-ului elevilor. În: *Integrare prin cercetare și inovare: conferința științifică națională cu participare internațională*, Chișinău: CEP USM, 6–7 noiembrie 2025. doi:10.59295/spd2025s
11. CAO, W. Using technology to personalize middle school math instruction. În: *Frontiers in Education*, 2022, 7, 646471. doi:10.3389/educ.2022.646471
12. CASTRO, M. Á.; GONZÁLEZ, D.; PÉREZ, J.; MARTÍNEZ, F. Integration of self-learning and assessment activities using STACK in a course of mathematics in engineering. În: *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 2024, 19(3), pp. 145–154. Available at: https://rua.ua.es/bitstream/10045/148612/3/Castro_etal_2024_IEEERevIberoamTecnolAprendiz.pdf
13. DAVIES, A.; SANGWIN, C. Symbolic assessment systems in mathematics education. Oxford: Oxford University Press, 2024.
14. DAVIES, B.; CRISAN, C.; GERANIOU, E. ș.a. A department-wide transition to a new mode of computer-aided assessment using STACK. În: *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 2024, 10, pp. 850–870. doi:10.1007/s40753-024-00251-5
15. HATTIE, J.; TIMPERLEY, H. The power of feedback. În: *Review of Educational Research*, 2007, 77(1), pp. 81–112. doi:10.3102/003465430298487
16. SANGWIN, C. J. Computer Aided Assessment of Mathematics: Technologies and Research. Oxford: Oxford University Press, 2013. 256 p. ISBN 978-0-19-966035-3

Recepționat / Received: 04.02.2026

Acceptat / Accepted: 19.03.2026

Email: braicov.andrei@upsc.md