

CZU: 004.42:37.015.3

DOI: 10.36120/2587-3636.v34i4.13-21

SPECIFICITATEA TESTELOR STATISTICE NEPARAMETRICE ÎN APLICAȚII SPECIALIZATE OPEN-SOURCE

Maria PAVEL, dr., conf. univ.

<https://orcid.org/0000-0003-4803-6398>

Dorin PAVEL, dr., conf. univ.

<https://orcid.org/0000-0002-9600-1360>

Catedra Informatică și Tehnologii Informaționale
Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău

Rezumat. Testele parametrice sunt cele mai utilizate pentru compararea de medii în analiza datelor statistice din domeniul psihopedagogic. Însă, atunci când utilizarea acestora este incompatibilă cu distribuția și tipul variabilelor cercetate, se recurge la teste neparametrice. Cele mai bune instrumente pentru realizarea lor sunt oferite de aplicația licențiată SPSS, pe când aplicațiile open-source specializate, fie au resurse limitate (PSPP), fie permit realizarea testelor neparametrice într-o manieră deosebită față de SPSS (JASP, Jamovi etc.), ceea ce poate crea confuzii în rândul cercetătorilor. În acest context, în lucrare sunt scoase în evidență aspecte metodologice și tehnice de realizare a testelor neparametrice în cadrul aplicației Jamovi.

Cuvinte cheie: cercetare pedagogică, date statistice, teste neparametrice, Jamovi, variabile ordinale, variabile nominale, distribuție normală.

SPECIFICITY OF NON-PARAMETRIC STATISTICAL TESTS IN SPECIALIZED OPEN-SOURCE APPLICATIONS

Abstract. Parametric tests are the most used for comparing means in the statistical data analysis in the psychopedagogical field. However, when their use is incompatible with the distribution and type of the researched variables, non-parametric tests are resorted to. The best tools for their realization are offered by the licensed SPSS application, while specialized open-source applications either have limited resources (PSPP) or allow non-parametric tests to be performed in a special way compared to SPSS (JASP, Jamovi, etc.), which can create confusion among researchers. In this context, the paper highlights methodological and technical aspects of performing non-parametric tests within the Jamovi application.

Keywords: pedagogical research, statistical data, non-parametric tests, Jamovi, ordinal variables, nominal variables, normal distribution.

Introducere

Testele parametrice sunt cele mai utilizate pentru compararea de medii în analiza datelor statistice din domeniul psihopedagogic. Însă, atunci când utilizarea acestora este incompatibilă cu distribuția și tipul variabilelor cercetate, se recurge la teste neparametrice. Testele statistice neparametrice sunt metode utilizate pentru analiza datelor atunci când distribuția acestora nu respectă anumite presupuneri necesare pentru aplicarea testelor parametrice, așa cum este normalitatea distribuției. Spre deosebire de testele parametrice, care presupun anumite caracteristici ale distribuției datelor, testele neparametrice sunt mai flexibile și nu necesită aceleași cerințe.

Aceste teste sunt numite „neparametrice” pentru că nu depind de parametri specifici ai unei anumite distribuții (cum ar fi media și deviația standard în cazul distribuției normale). Ele sunt utile atunci când datele nu sunt distribuite normal sau când nu se cunoaște natura precisă a distribuției.

Pe de altă parte, variabilele cercetate în cadrul testelor parametrice sunt întotdeauna cantitative, măsurate pe scale de tip interval sau raport, pe când în cazul variabilelor ordinale sau nominale sunt utilizate teste neparametrice [1, 2].

Istoria testelor neparametrice este strâns legată de dezvoltarea statisticii non-parametrice în prima jumătate a secolului XX. În această perioadă au fost dezvoltate și rafinate multe metode statistice, dar s-au realizat și cercetări care au demonstrat că unele date nu respectă mereu distribuții normale sau alte distribuții specifice. Una dintre primele metode non-parametrice semnificative a fost testul Mann-Whitney U, dezvoltat de Henry Mann și Donald Whitney în anul 1947, pentru comparația a două eșantioane independente de date [3].

De-a lungul timpului, au fost elaborate și alte teste neparametrice pentru diverse scopuri, cum ar fi testul Wilcoxon (Frank Wilcoxon, 1945, compararea a două eșantioane perechi), testul Kruskal-Wallis (William Kruskal și W. Allen Wallis, 1952, compararea a două sau mai multor eșantioane statistice) și teste pentru măsurile de asociere între variabile (precum testele pentru corelație Spearman, Pearson sau Kendall). Testele neparametrice au fost dezvoltate pentru a fi mai robuste în fața diversității datelor și pentru a furniza soluții fiabile în situații în care cerințele testelor parametrice nu sunt îndeplinite. Ele se bazează pe ranguri, ordinea datelor sau pe alte metode care nu depind de distribuția specifică a datelor [3, 4].

Aceste teste sunt utilizate în diverse domenii, precum cercetarea în științele sociale, medicină, economie și multe altele, fiind o opțiune valoroasă atunci când presupunerea distribuției normale a datelor nu poate fi respectată sau când datele sunt într-o formă atipică.

În dependență de situațiile de analiză statistică diverse, testele neparametrice prezintă astfel de avantaje, precum:

- ✓ robustețe la presupuneri: testele neparametrice sunt mai puțin sensibile la abateri de la normalitate sau alte cerințe specifice, fiind potrivite pentru datele care nu respectă aceste condiții;
- ✓ aplicabilitate largă: ele sunt utile într-o gamă variată de situații și pentru diferite tipuri de date, inclusiv pentru date ordonate sau ranguri, ceea ce le face versatile și aplicabile în diverse domenii științifice și practice;
- ✓ eficiență la date mici: uneori, atunci când seturile de date sunt mici, testele parametrice pot fi sensibile și pot furniza rezultate nesigure, pe când testele neparametrice pot oferi rezultate mai stabile și mai fiabile în astfel de cazuri;

- ✓ sensibilitate la abateri extreme: testele neparametrice pot fi mai puțin influențate de punctele extreme sau de abaterile mari din date, ceea ce le face potrivite pentru seturi de date cu anomalii sau valori atipice;
- ✓ ușurință de interpretare: unele teste neparametrice, cum ar fi testul Wilcoxon sau testul Mann-Whitney, au interpretări relativ simple și pot fi ușor de explicat și de înțeles [5-8].

Cu toate acestea, este important să se țină cont și de dezavantajele testelor neparametrice, precum o posibilă pierdere de putere (capacitatea de a detecta diferențe reale) în anumite situații, în comparație cu testele parametrice corespunzătoare, atunci când cerințele acestora sunt îndeplinite. Utilizarea unui test specific depinde de natura datelor și de scopul analizei statistice.

Există diverse opinii între cercetători vis-a-vis de utilizarea testelor neparametrice în cazul unor eșantioane mari și foarte mari. De exemplu, în cazul testului Mann-Whitney, Conover [3], Labăr [4], Corder, Foreman [8] ș.a. susțin că pentru dimensiuni suficient de mari ale eșantionului, testul Mann-Whitney U este considerabil mai eficient decât t, pe când Siegel, Castellan [9], Zhu [10] ș.a. consideră testul Mann-Whitney U se utilizează pentru eșantioane mici. În general, atunci când se lucrează cu eșantioane mari și date care nu respectă o distribuție normală, există mai multe opțiuni care pot fi luate în considerare pentru analiză, așa ca:

- ✓ transformări ale datelor, pentru a le face mai apropiate de o distribuție normală, precum transformările logaritmice sau transformările puterii, ce pot fi utile în anumite situații. După aplicarea acestor transformări, pot fi folosite testele parametrice;
- ✓ bootstrap sau resampling, ce implică extragerea repetată a unor sub-eșantioane din setul de date inițial și efectuarea testelor pe aceste sub-eșantioane. Această metodă poate oferi estimări și interval de încredere chiar și în absența unei distribuții normale.
- ✓ teste robuste în fața devierilor de la normalitate, precum testul t Student, ce este destul de robust la abateri moderate de la normalitate, mai ales în cazul unui eșantion mare;
- ✓ teste neparametrice, în cazul când datele nu pot fi transformate într-o formă apropiată de normalitate sau dacă testele parametrice nu sunt potrivite, cum ar fi testul Mann-Whitney U pentru comparații între două grupuri sau testul Kruskal-Wallis pentru mai mult de două eșantioane;
- ✓ metode mixte, ce prezintă combinații eficiente de metode. De exemplu, se poate începe cu teste parametrice și apoi, în cazul în care există îndoieli sau abateri semnificative de la normalitate, se pot utiliza metode bootstrap sau teste neparametrice pentru confirmare.

Este important să se țină cont de natura datelor analizate, pentru a se alege metoda potrivită, în funcție de scopul analizei și de cerințele specifice ale problemei de cercetare

sau a setului de date. Iar consultarea unui statistician sau a unui specialist în domeniu poate fi utilă pentru a face alegerea corectă și pentru interpretarea corectă a rezultatelor.

Metode, mijloace, rezultate

Pentru realizarea testelor neparametrice pot fi calculați coeficienții specifici U, K-S, Z, W, χ^2 etc., utilizând formulele bine-cunoscute în literatura de specialitate, însă pentru tinerii cercetători din domeniul educației, psihologiei și altor domenii sociale, poate fi o cale destul de anevoioasă, necesitând competențe matematice înalte. Pe de altă parte, mijloacele tehnice moderne oferă o cale intuitivă, prietenoasă utilizatorului, care facilitează munca cercetătorului în realizarea testelor statistice, atât parametrice, cât și neparametrice. Instrumente profesionale, specializate pentru testele neparametrice sunt oferite de SPSS, care, cu interfața sa intuitivă și diverse funcționalități, poate fi folosit pentru a efectua testele Wilcoxon, Kruskal-Wallis, Mann-Whitney și altele.

În majoritatea altor aplicații statistice specializate, testele neparametrice, în special testul Mann-Whitney sunt slab documentate. De exemplu, limbajul de programare R conține mai multe pachete, ce oferă funcționalități pentru testele neparametrice, cum ar fi pachetul „stats” pentru teste de diferență între grupuri, pachetul „coin” pentru teste de rang și multe altele. În cadrul acestuia, testul Mann-Whitney este realizat prin *wilcox.test*, sau calculând coeficientul Z, cu ajutorul pachetului *wilcoxonZ*. În aplicația PSPP [1], de asemenea testul Mann-Whitney se realizează în cadrul opțiunii *Wilcoxon*. Python în schimb, un alt limbaj de programare puternic pentru analiza datelor, conține în biblioteca „SciPy” și „statsmodels” funcționalități pentru realizarea testelor neparametrice. Utilizând aceste biblioteci, se pot efectua teste precum Mann-Whitney U, testul Kruskal-Wallis și multe altele.

Fiecare aplicație are avantajele și limitările sale, iar alegerea depinde de preferințele personale, nivelul de expertiză și necesitățile specifice ale cercetătorului. De obicei, aceste programe oferă documentație și tutoriale care oferă ajutor la efectuarea testelor neparametrice, folosind platforma respectivă.

O platformă de analiză statistică care poate gestiona testele neparametrice este aplicația Jamovi [2], un software open-source, gratuit și ușor de utilizat, care oferă o gamă largă de funcționalități statistice, inclusiv testele neparametrice.

Așa cum a fost menționat mai sus, cel mai profesionist, testele neparametrice sunt realizate în SPSS, care furnizează statistici complete vis-a-vis de testele neparametrice. De exemplu, pentru testul Mann-Whitney U, aplicația generează tabelul *Ranks*, cu suma și media rangurilor pentru fiecare eșantion independent (tabelul 1), și tabelul *Test Statistics*, în care se regăsesc așa statistici ca: Mann-Whitney U, Wilcoxon W, Z și semnificația asimptotică (tabelul 2). Valoarea standardizată Z, care se calculează pe baza lui U, se

utilizează pentru calcularea mărimii efectului, importantă pentru orice cercetare psihopedagogică, ce indică efectul variabilei independente asupra celei dependente.

Tabelul 1. Exemplu de tabel *Ranks*, furnizat de SPSS

Ranks				
	Research group	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Results on files knowledge	control	55	81,69	4493,00
	experimental	55	29,31	1612,00
	Total	110		

Tabelul 2. Exemplu de tabel *Test Statistics*, furnizat de SPSS

Test Statistics ^a	
	Results on file knowledge
Mann-Whitney U	72,000
Wilcoxon W	1612,000
Z	-9,057
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000
a. Grouping Variable: Research group	

Același lucru se întâmplă în SPSS și pentru testul Wilcoxon pentru eșantioane perechi, testul Kolmogorov-Smirnov pentru eșantioane independente, testul χ^2 de comparare a frecvențelor teoretice cu cele observate, testul χ^2 de asociere pentru variabile nominale și altele. Aplicația Jamovi, însă permite realizarea acestora în cadrul testelor parametrice t, din meniul *T-Tests*. De exemplu, pentru testul Mann-Whitney, se bifează doar opțiunea corespunzătoare, cu posibilitatea de a debifa testul t *Student's*, după cum se observă în figura 1. Aplicația adaugă un rând pentru statistica Mann-Whitney U și semnificația corespunzătoare p, în același tabel Independent Samples T-Test [2].

The screenshot shows the Jamovi software interface for an Independent Samples T-Test. The 'Tests' section has 'Mann-Whitney U' checked and 'Student's t' unchecked. The 'Additional Statistics' section has 'Descriptives' checked. The results table shows Student's t = -3.04* and Mann-Whitney U = 18.0, both with p = 0.007. A note indicates that Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the assumption of equal variances.

Independent Samples T-Test				
	Statistic	df	p	
test	Student's t	-3.04*	18.0	0.007
	Mann-Whitney U	18.0		0.014

Note: $H_0: \mu_1 = \mu_2$
 * Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the assumption of equal variances

Group Descriptives						
	Group	N	Mean	Median	SD	SE
test	1	10	7.30	7.50	1.57	0.496
	2	10	9.00	9.00	0.816	0.258

Figura 1. Exemplu de statistici *Student's* și *Mann-Whitney U*, în Jamovi

Corespunzător, pentru testul Wilcoxon pentru eşantioane perechi, se va accesa testul *Paired Samples T-Test*, în care se va bifa opţiunea *Wilcoxon rank*, iar rezultatele obţinute se vor insera într-un rând suplimentar al tabelului din output (figura 2).

The screenshot shows the Jamovi interface for a Paired Samples T-Test. On the left, the 'Paired Samples T-Test' configuration window is open. Under 'Paired Variables', 'pre_test' and 'post_test' are listed. In the 'Tests' section, 'Student's' is checked, and 'Wilcoxon rank' is also checked. Under 'Additional Statistics', 'Mean difference', 'Confidence interval', and 'Effect size' are all unchecked. The 'Confidence interval' is set to 95%. On the right, the output window shows the results. It includes a table with the following data:

		Statistic	df	p
pre_test	post_test	Student's t	1.80	19.0
		Wilcoxon W	113 ^a	0.085

Below the table, there is a note: 'Note. H₀: μ Measure 1 - Measure 2 = 0' and '* 3 pair(s) of values were tied'. Underneath, there is a 'Descriptives' table:

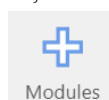
	N	Mean	Median	SD	SE
pre_test	20	8.15	8.50	1.50	0.335
post_test	20	7.30	7.50	1.45	0.325

Figura 2. Exemplu de statistici *Student's* și *Wilcoxon W*, în Jamovi


Pentru aceste teste, se va utiliza valoarea U, sau W, pentru a calcula manual coeficientul Z, dacă este necesară mărimea efectului, deși aceasta poate fi vizualizată automat într-o coloană suplimentară a tabelelor menționate mai sus, în Jamovi, bifând opţiunea *Effect size*.

Un alt test, similar testului Mann-Whitney U, este testul Brunner-Munzel. Diferența de bază este că testul Mann-Whitney U presupune variații egale și un model de schimbare a locației, în timp ce testul Brunner-Munzel nu necesită aceste ipoteze, făcându-l mai robust și aplicabil la o gamă mai largă de condiții. În acest context, mulți cercetători recomandă aplicarea implicită a testului Brunner-Munzel în schimbul testului Mann-Whitney U [11, 12]. Acest test a fost propus de Brunner E. și Munzel U. în 2000, ca o generalizare pentru datele discontinue, în cazul unor setări mai eterogene [13]. Poate fi implementat în R, Python și Jamovi, din păcate încă neimplementat în SPSS.

În Jamovi, există module sau extensii care permit utilizarea diferitor teste și statistici suplimentare, precum testul Brunner-Munzel. Acestea pot fi instalate din biblioteca Jamovi, accesând butonul *Modules* din colțul dreapta sus al ferestrei aplicației:



În fereastra deschisă, pe fila *Available*, se va localiza extensia „bmtest”, apoi se va accesa butonul *Install*, asociat acesteia. Procedura de instalare este foarte rapidă, procesul finalizându-se cu modificarea butonului de instalare în mesajul *Installed*. Detalii despre acest test pot fi consultate la Karch J. D. [11], așa cum este sugerat și în informația adiacentă extensiei.



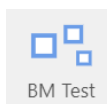
bmtest - Brunner-Munzel Test 0.1.1

Julian Karch

The Brunner-Munzel test provides a more robust version of the popular Wilcoxon-Mann-Whitney test. It is recommended to almost always use the Brunner-Munzel test. The test and module are described in detail in [Karch \(2023\)](#)

INSTALLED

După ce extensia „bmtest” este instalată, opțiunile suplimentare de analiză vor fi localizate în meniul „Analyses”, instrumentul BM Test:

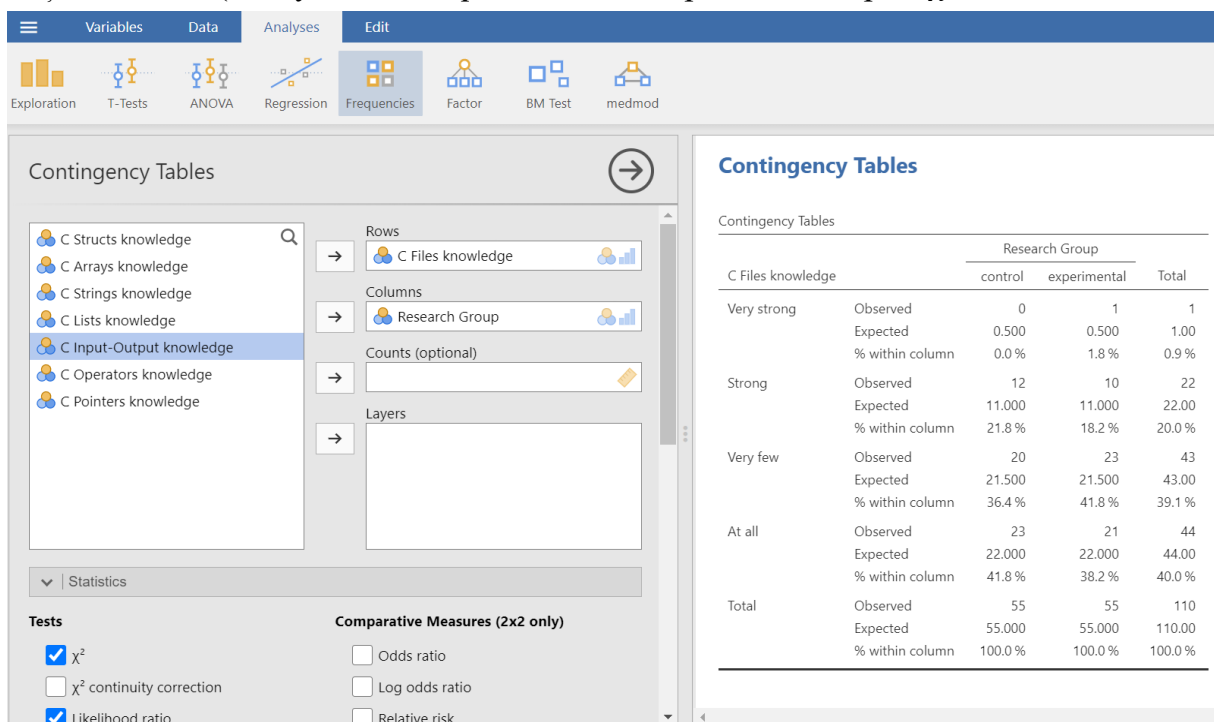


Pentru realizarea testului discutat, se accesează opțiunea *Brunner-Munzel Test*, se introduc datele sau variabilele relevante pentru test (variabile dependentă și variabila de grupare), se configurează opțiunile testului și se execută analiza (tabelul 3). Interpretarea rezultatelor testului Brunner-Munzel se face analog celor ale testului Mann-Whitney.

Tabelul 3. Exemplu de statistici ale testului Brunner-Munzel, în Jamovi

Brunner-Munzel Test				
		Statistic	df	p
pre_test	Asymptotic	3.59	16.4	0.002
<i>Note.</i> $H_a: P(1 < 2) + \frac{1}{2}P(1 = 2) \neq \frac{1}{2}$				

Mai puține teste neparametrice există însă pentru compararea variabilelor nominale, majoritatea din ele fiind destinate variabilelor cel puțin ordinale. Cel mai cunoscut test pentru acest scop este testul χ^2 de asociere sau independență, ce se realizează cu ușurință atât în SPSS (Analyse → Descriptive Statistics → Crosstab → Statistics → Chi-square), cât și în Jamovi (Analyses → Frequencies → Independent Samples χ^2 test of association).



The screenshot shows the Jamovi interface for a Contingency Tables analysis. The 'Rows' variable is 'C Files knowledge' and the 'Columns' variable is 'Research Group'. The 'Statistics' section is expanded to show 'Tests' and 'Comparative Measures (2x2 only)'. The 'Tests' section has χ^2 and Likelihood ratio checked. The 'Comparative Measures' section has Odds ratio, Log odds ratio, and Relative risk unchecked.

The results table on the right is as follows:

Contingency Tables		Research Group			Total
		control	experimental		
C Files knowledge	Very strong	Observed: 0	1	1	
		Expected: 0.500	0.500	1.00	
		% within column: 0.0%	1.8%	0.9%	
Strong	Observed	12	10	22	
	Expected	11.000	11.000	22.00	
	% within column	21.8%	18.2%	20.0%	
Very few	Observed	20	23	43	
	Expected	21.500	21.500	43.00	
	% within column	36.4%	41.8%	39.1%	
At all	Observed	23	21	44	
	Expected	22.000	22.000	44.00	
	% within column	41.8%	38.2%	40.0%	
Total	Observed	55	55	110	
	Expected	55.000	55.000	110.00	
	% within column	100.0%	100.0%	100.0%	

Figura 3. Testul χ^2 de asociere, în Jamovi

Pentru afișarea valorilor observate, așteptate și a procentajului din totalul pe coloană, în tabelul *Contingency Tables*, în Jamovi, se vor bifa în caseta *Cells*, din panoul stâng al ferestrei aplicației, ce conține setările testului, opțiunile *Observed counts*, *Expected counts* (din coloana *Counts*) și *Column* (din coloana *Percentages*). Rezultatele principale ale testului sunt incluse în tabelul χ^2 *Tests*, iar dacă în caseta *Statistics*, în coloana *Nominal*, a fost bifată opțiunea *Phi and Cramer's V*, atunci se va genera tabelul *Nominal* (analog tabelului *Symmetric Measures* din SPSS).

Tabelul 4. Exemplu de statistici ale testului χ^2 de asociere, în Jamovi

χ^2 Tests			
	Value	df	p
χ^2	1.48	3	0.686
Likelihood ratio	1.87	3	0.600
N	110		

Coeficientul *Phi* se va afișa doar în cazul tabelului de contingență 2×2 și, de rând cu coeficientul *Cramer V*, reprezintă valori ale mărimii efectului ce se vor interpreta la fel ca și coeficienții de corelație Pearson *r* [4, p.].

Concluzii

Testele statistice neparametrice sunt esențiale pentru cercetarea științifică și aplicată, oferind metode fiabile și valide pentru a evalua diferențele și efectele în datele care nu se conformează cerințelor stricte ale testelor parametrice. Capacitatea de a utiliza și de a înțelege atât metodele parametrice, cât și cele neparametrice este crucială pentru un analist sau un cercetător în luarea deciziilor corecte în analiza datelor, ceea ce răsfrânge puternic asupra concluzii formulate.

Articol realizat în cadrul proiectului de cercetări științifice „Metodologia implementării TIC în procesul de studiere a științelor reale în sistemul de educație din Republica Moldova din perspectiva inter/transdisciplinarității (concept STEAM)”, inclus în „Program de stat” (2020-2023), Prioritatea IV: Provocări societale, cifra 20.80009.0807.20, cu suportul financiar oferit de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare

Bibliografie

1. PAVEL, D.; GLOBALA, A.; PAVEL, M. Soluție software gratuită pentru prelucrarea statistică a rezultatelor experimentului psihopedagogic. In: *The 29th Conference on Applied and Industrial Mathematics CAIM 2022*. 25-27 august 2022, *Communications in Education*. Chișinău, Republica Moldova: TSU, 2022, pp. 174-183. ISBN 978-9975-76-401-8. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/174-183_4.pdf

2. PAVEL, M.; PAVEL, D. Diversificarea instrumentelor software de statistică socială cu Jamovie. In: *Proceedings of the 30th Conference on Applied and Industrial Mathematics, CAIM 2023*. September 14-17, 2023: *Communications in Education*. Iași, September 14-17, 2023. Iași, România: A.I. Cuza Iasi University, 2023, pp. 115-123. ISBN 978-606-13-7848-7.
3. CONOVER, W. J. *Practical Nonparametric Statistics* (2nd Edition). New Jersey, U.S.: John Wiley & Sons, 1980. pp. 225–226.
4. LABĂR, A. V. *SPSS pentru Științele Educației. Metodologia analizei datelor în cercetarea pedagogică*. Iași: Polirom, 2008. 350 p. ISBN 978-973-46-1148-5.
5. ROTENȘTEIN, E. Teste neparametrice. 16 p. Online. [accesat 22.11.2023]. Disponibil: [https://www.math.uaic.ro/~eduard/Capitolul%207.%20Teste%20neparametrice%20\(Master\).pdf](https://www.math.uaic.ro/~eduard/Capitolul%207.%20Teste%20neparametrice%20(Master).pdf)
6. HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A. *Nonparametric Statistical Methods* (2 ed.). Wiley-Interscience, 1999. ISBN 978-0471190455.
7. LEHMANN, E.; D'ABRERA, H. *Nonparametrics: Statistical Methods Based on Ranks*. New York: Springer, 2003. pp. xvi+463. ISBN 978-0-387-35212-1.
8. CORDER, G.W.; FOREMAN, D.I. *Nonparametric Statistics: A Step-by-Step Approach*. Wiley, 2014. 283 p. ISBN 978-1118840313. Online. [accesat 22.11.2023]. Disponibil: https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/nonparametric_statistics_a_step-by-step_approach.pdf
9. SIEGEL, S.; CASTELLAN, NJ. *Nonparametric statistics for the behavioural sciences*. New York: McGrawHill Inc, 1988. pp. 45-85.
10. ZHU, X. Sample size calculation for Mann-Whitney U test with five methods. In: *International Journal of Clinical Trials*. 2021 Aug, nr. 8(3). pp. 184-195. pISSN2349-3240 | eISSN 2349-3259. DOI: <https://dx.doi.org/10.18203/2349-3259.ijct20212840>.
11. KARCH, J. D. Psychologists should use Brunner-Munzel's instead of Mann-Whitney's U test as the default nonparametric procedure. In: *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*. 2021, nr. 4 (2). ISSN 2515-2459. doi:10.1177/2515245921999602.
12. NOGUCHI, K.; KONIETSCHKE, F.; MARMOLEJO-RAMOS, F.; PAULY, M. Permutation tests are robust and powerful at 0.5% and 5% significance levels. In: *Behavior Research Methods*. 2021. Nr. 53, pp. 2712–2724. doi:10.3758/s13428-021-01595-5.
13. BRUNNER, E.; MUNZEL, U. The nonparametric Behrens-Fisher problem: Asymptotic theory and a small-sample approximation. In: *Biometrical Journal*. 2000, nr. 42 (1), pp. 17–25. ISSN 0323-3847.