

Ανάπτυξη και Εγκυροποίηση Εργαλείου Ανίχνευσης και Αξιολόγησης Επιστημονικού Συλλογισμού σε Μαθητές/τριες Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης

Γεώργιος Χιονάς¹ και Αναστάσιος Εμβαλωτής²

¹Εκπαιδευτικός ΠΕ70, Διδάκτορας, ²Καθηγητής,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
¹*gchionas@sch.gr*

Περίληψη

Στην εισήγηση παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης και εγκυροποίησης ενός πρωτότυπου εργαλείου ανίχνευσης και αξιολόγησης δεξιοτήτων επιστημονικού συλλογισμού (Elementary Scientific Reasoning Questionnaire - ESRQ) για μαθητές/τριες Στ' Δημοτικού. Το ESRQ περιλαμβάνει 28 προτάσεις που αξιολογούν οκτώ διαστάσεις με τη βοήθεια των οποίων η διεθνής βιβλιογραφία λειτουργικοποιεί την έννοια του επιστημονικού συλλογισμού, εφαρμόστηκε σε 829 μαθητές/τριες και τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τη μονοδιάστατη δομή των υποκλιμάκων συνοδευόμενη από ικανοποιητικούς δείκτες αξιοπιστίας και εγκυρότητας.

Λέξεις κλειδιά: αξιολόγηση, αξιοπιστία, εγκυρότητα, επιστημονικός συλλογισμός, πρωτοβάθμια εκπαίδευση

Development and Validation of an Instrument for Detecting and Assessing Scientific Reasoning in Primary Education Students

Georgios Chionas¹ and Anastassios Emvalotis²

¹Phd, Primary School Teacher, ²Professor,
Department of Primary Education, University of Ioannina
¹*gchionas@sch.gr*

Abstract

This study presents the development and validation process of a novel instrument designed to assess scientific reasoning skills, the Elementary Scientific Reasoning Questionnaire (ESRQ), aimed at 6th-grade students. The ESRQ comprises 28 items evaluating eight dimensions that international literature identifies as key components of scientific reasoning. The instrument was administered to 829 students, and the results confirmed the unidimensional structure of the subscales, supported by satisfactory reliability and validity indices.

Keywords: assessment, primary education, reliability, scientific reasoning, validity

Εισαγωγή

Οι Δεξιότητες Επιστημονικού Συλλογισμού (ΔΕΣ) αποτελούν βασικό συστατικό των δεξιοτήτων του 21^{ου} αιώνα και σε πολλές χώρες έχουν ενσωματωθεί στα Προγράμματα Σπουδών και στα Εθνικά Πρότυπα Εκπαίδευσης στις Επιστήμες (Janoušková et al., 2023). Το

ερευνητικό εγχείρημα που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη δημοσίευση εξετάζει τις ΔΕΣ στην ελληνική πρωτοβάθμια εκπαίδευση, ένα πεδίο που έχει διερευνηθεί ελάχιστα σε διεθνές επίπεδο (Opitz et al., 2017). Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία δείχνει στην ηλικία 10-12 ετών τα παιδιά έχουν κατακτήσει βασικές δεξιότητες (π.χ. Πειραματισμός), αλλά δυσκολεύονται σε πιο σύνθετες (π.χ. Διατύπωση Υποθέσεων και Ερωτημάτων) (Schlatter et al., 2020), γεγονός που καθιστά την ηλικιακή αυτή περίοδο ιδανική για τη διερεύνηση των ΔΕΣ. Λόγω της πολυπλοκότητας των δεξιοτήτων, η βιβλιογραφία προτείνει ειδικά διαμορφωμένα εργαλεία ανίχνευσης και αξιολόγησης (Coleman et al., 2023).

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Ο ΕΣ αποτελεί μια σύνθετη και πολυδιάστατη έννοια που αρχικά προσεγγίστηκε ως σύνολο γενικών δεξιοτήτων σκέψης και αργότερα ως εξειδικευμένη γνώση συγκεκριμένου πεδίου (Opitz et al., 2017). Σύγχρονες προσεγγίσεις συνδυάζουν και τις δύο οπτικές, αναγνωρίζοντας δεξιότητες, όπως η Διατύπωση Ερωτημάτων και Υποθέσεων, ο Σχεδιασμός και η Διεξαγωγή Πειραμάτων, η Ανάλυση Δεδομένων κ.ά. (Fischer et al., 2014 · Pedaste et al., 2015). Για την πλειονότητα των προσεγγίσεων, διαπιστώνονται συγκλίσεις στις υποδιαστάσεις που τον συνθέτουν (Emden, 2021 · Opitz et al., 2017 · Pedaste et al., 2015).

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Παρά τις συγκλίσεις ως προς τις επιμέρους διαστάσεις τα ελάχιστα διαθέσιμα εργαλεία μέτρησης του ΕΣ στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση ποικίλλουν σημαντικά ως προς τη δομή και τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. κλειστού τύπου δοκιμασίες, πρακτικά πειράματα κ.ά), με τα περισσότερα να εστιάζουν στην αξιολόγηση δεξιοτήτων πειραματισμού (βλ. ενδ. Pedaste et al., 2021 · Peteranderl & Edelsbrunner, 2020). Λιγότερα εργαλεία αξιολογούν τη Διατύπωση Ερωτημάτων και Υποθέσεων, οι οποίες θεωρούνται επίσης σημαντικές επιστημονικές δεξιότητες (Opitz et al., 2017). Οι ειδικοί ερευνητές συμφωνούν ως προς την έλλειψη ολοκληρωμένων εργαλείων που αξιολογούν συστηματικά σημαντικές διαστάσεις του ΕΣ στη συγκεκριμένη βαθμίδα εκπαίδευσης (Pedaste et al., 2015).

Μεθοδολογία

Σκοπός του ερευνητικού σχεδίου, μέρος του οποίου παρουσιάζεται στην παρούσα δημοσίευση, ήταν η ανάπτυξη ενός εργαλείου αξιολόγησης των ΔΕΣ μαθητών/τριών ΣΤ' δημοτικού. Τα ερευνητικά ερωτήματα εστίασαν στη δυνατότητα κατασκευής ενός εργαλείου που λειτουργικοποιεί τις συνιστώσες του ΕΣ με όρους εγκυρότητας και αξιοπιστίας, καθώς και στον βαθμό που τα εμπειρικά δεδομένα επιβεβαιώνουν τη (θεωρητική) κατασκευή του εργαλείου. Βάσει των εμπειρικών δεδομένων που συλλέχθηκαν πραγματοποιήθηκαν οκτώ ξεχωριστές Διερευνητικές Παραγοντικές Αναλύσεις (ΔΠΑ), οι οποίες λειτούργησαν ως πρόδρομο στάδιο για την Επιβεβαιωτική Παραγοντική Ανάλυση (ΕΠΑ). Η επιλογή αυτή επέτρεψε τη διασφάλιση της εννοιολογικής καθαρότητας, την καλύτερη κατανόηση της δομής κάθε παράγοντα και την ακριβέστερη αποτίμηση των διακριτών στοιχείων του εργαλείου.

Συμμετέχοντες/ουσες

Στην έρευνα συμμετείχαν μέσω βολικής δειγματοληψίας 829 μαθητές/τριες ΣΤ' δημοτικών σχολείων εκ των οποίων 436 (53,59%) ήταν κορίτσια και 393 αγόρια (47,41%).

Εργαλεία της Έρευνας

Το ESRQ είναι ένα νέο εργαλείο αξιολόγησης οκτώ διαστάσεων του ΕΣ (Διατύπωση Ερευνητικού Ερωτήματος-ΔΕΕ, Διατύπωση Ερευνητικής Υπόθεσης-ΔΕΥ, Σχεδιασμός Πειραματικής Διαδικασίας-ΣΠΔ, Αναγνώριση Πειραματικής Διαδικασίας-ΑΠΔ,

Αναγνώριση Αιτιακής Σχέσης με Συμμεταβολή-ΑΑΣ, Αναγνώριση Αιτιακής Σχέσης χωρίς Συμμεταβολή-ΑΧΣ, Αδυναμία Εντοπισμού Αιτιακής Σχέσης-ΑΕΣ και Κατανόηση Γραφημάτων-ΚΓΡ). Οι 28 κλειστού τύπου προτάσεις του περιλάμβαναν αποκλειστικά ερωτήσεις (προτάσεις) πολλαπλής επιλογής με καλύτερη/μοναδική απάντηση.

Αποτελέσματα

Οι πίνακες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των ελέγχων του ESRQ. Ο Πίνακας 1 δείχνει τη μονοδιάστατη δομή των υποκλιμάκων με υψηλά ποσοστά εξηγούμενης διασποράς (60-91%), ενώ ο Πίνακας 2 επιβεβαιώνει την ουσιαστική συμβολή των προτάσεων σε κάθε λανθάνουσα μεταβλητή (0.46-0.98, $p < 0.001$), την αξιοπιστία (ω : 0.68-0.96) και τη συγκλίνουσα και διακριτική εγκυρότητα (AVE: 0.42-0.87, HTMT < 0.90) του εργαλείου. Η προσαρμογή του μοντέλου αξιολογήθηκε μέσω των δεικτών SRMR και CFI. Ο δείκτης SRMR ανήλθε στο 0.04, κάτω από το αποδεκτό όριο του 0.08, ενώ ο CFI είχε τιμή > 0.99, υποδεικνύοντας εξαιρετική προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα (Hu & Bentler, 1995).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα ελέγχων Διερευνητικής Παραγοντικής Ανάλυσης μέσω Κριτηρίου Kaiser Gutmann στις κλίμακες του ESRQ

Κλίμακα	Αριθμός προτάσεων	Πρώτη Συνιστώσα		Επιπλέον Συνιστώσες > 1.0
		Ιδιοτιμή	%	
ΔΕΕ	4	2.60	65	0
ΔΕΥ	4	2.39	60	0
ΣΠΑ	4	3.62	91	0
ΑΠΑ	4	2.62	65	0
ΑΑΣ	3	2.01	67	0
ΑΧΣ	3	1.80	60	0
ΑΕΣ	3	2.03	68	0
ΚΓΡ	3	2.48	83	0

Σημείωση. Οι τιμές στη στήλη % αντιπροσωπεύουν το ποσοστό της συνολικής διασποράς που εξηγείται από την πρώτη συνιστώσα. Η στήλη "Επιπλέον συνιστώσες > 1.0" δείχνει τον αριθμό των επιπρόσθετων συνιστωσών με ιδιοτιμή > 1

Πίνακας 2. Συνοπτικά αποτελέσματα ελέγχων Επιβεβαιωτικής Παραγοντικής Ανάλυσης ESRQ

Κλίμακα	Φορτίσεις Παραγόντων	ω	AVE	HTMT
ΔΕΕ	0.55-0.84 ($p < 0.001$)	0.83	0.55	ΑΠΑ (0.82), ΑΕΣ (0.74), ΣΠΑ (0.71)
ΔΕΥ	0.46-0.85 ($p < 0.001$)	0.77	0.47	ΑΠΑ (0.72), ΣΠΑ (0.68), ΔΕΕ (0.61)
ΣΠΑ	0.84-0.98 ($p < 0.001$)	0.96	0.87	ΑΠΑ (0.88), ΔΕΕ (0.71), ΑΕΣ (0.71)
ΑΠΑ	0.70-0.77 ($p < 0.001$)	0.82	0.54	ΣΠΑ (0.88), ΔΕΕ (0.82), ΑΕΣ (0.76)
ΑΑΣ	0.65-0.76 ($p < 0.001$)	0.76	0.51	ΑΠΑ (0.71), ΣΠΑ (0.64), ΔΕΕ (0.62)
ΑΧΣ	0.47-0.82 ($p < 0.001$)	0.68	0.42	ΑΕΣ (0.72), ΑΠΑ (0.59), ΔΕΕ (0.57)
ΑΕΣ	0.69-0.79 ($p < 0.001$)	0.77	0.53	ΑΠΑ (0.76), ΔΕΕ (0.74), ΑΧΣ (0.72)
ΚΓΡ	0.86-0.86 ($p < 0.001$)	0.90	0.74	ΣΠΑ (0.48), ΑΧΣ (0.45), ΑΕΣ (0.45)

Σημείωση. ω : δείκτης αξιοπιστίας με αποδεκτές τιμές $\omega > 0.70$ ή $\omega > 0.60$ σε καινοτόμες έρευνες, AVE: δείκτης συγκλίνουσας εγκυρότητας με αποδεκτές τιμές $AVE > 0.50$, HTMT: δείκτης διακριτικής εγκυρότητας με αποδεκτές τιμές $HTMT < 0.90$ (παρουσιάζονται οι τρεις μεγαλύτερες τιμές για κάθε διάσταση) (Cheung et al., 2024)

Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο του ερευνητικού εγχειρήματος αναπτύχθηκε και εγκυροποιήθηκε το εργαλείο ESRQ για μαθητές/τριες ΣΤ' Δημοτικού, επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητα του ως εργαλείου εκπαιδευτικής αξιολόγησης. Τα αποτελέσματα της ΔΠΑ έδειξαν ότι οι υποκλίμακες του ESRQ διαθέτουν μονοδιάστατη δομή με υψηλά ποσοστά εξηγούμενης διασποράς. Η ΕΠΑ επιβεβαίωσε την αξιοπιστία και την εγκυρότητα του εργαλείου, καθώς οι δείκτες αξιοπιστίας, συγκλίνουσας και διακριτικής εγκυρότητας πληρούσαν τα αποδεκτά όρια. Επιπλέον, οι φορτίσεις παραγόντων έδειξαν την ουσιαστική συμβολή των προτάσεων στις αντίστοιχες

λανθάνουσες μεταβλητές. Τέλος, οι δείκτες προσαρμογής επιβεβαίωσαν την άριστη προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, ενισχύοντας την καταλληλότητα του ESRQ ως αξιόπιστου και έγκυρου εργαλείου αξιολόγησης των ΔΕΣ σε μαθητές/τριες πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Ευχαριστίες

Η ερευνητική εργασία χρηματοδοτήθηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της «3ης Προκήρυξης ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για Υποψήφιους/ες Διδάκτορες» (Κωδικός Έργου: 83197/116972/β6.ε).

Βιβλιογραφία

- Cheung, G., Cooper-Thomas, H., Lau, R., & Wang, L. (2024). Reporting reliability, convergent and discriminant validity with structural equation modeling: A review and best-practice recommendations. *Asia Pacific Journal of Management*, 41(2), 745–783.
<https://doi.org/10.1007/s10490-023-09871-y>
- Coleman, A., Lorenzo, K., McLamb, F., Sanku, A., Khan, S., & Bozinovic, G. (2023). Imagining, designing, and interpreting experiments: Using quantitative assessment to improve instruction in scientific reasoning. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 51(3), 286–301.
<https://doi.org/10.1002/bmb.21727>
- Emden, M. (2021). Reintroducing “the” Scientific Method to Introduce Scientific Inquiry in Schools?: A Cautioning Plea Not to Throw Out the Baby with the Bathwater. *Science and Education*, 30(5), 1037–1073. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00235-w>
- Fischer, F., Kollar, I., Ufer, S., Sodian, B., Hussmann, H., Pekrun, R., Neuhaus, B., Dorner, B., Pankofer, S., Fischer, M., Strijbos, J. W., Heene, M., & Eberle, J. (2014). Scientific reasoning and argumentation: Advancing an interdisciplinary research agenda in education. *Frontline Learning Research*, 2(3), 28–45. <https://doi.org/10.14786/flr.v2i3.96>
- Hu, L., & Bentler, P. (1995). Evaluating model fit. Στο R. H. Hoyle (Επιμ.), *Structural equation modeling: Concepts, issues and application*, σ. 77–99. Sage Publications, Inc. ISBN: 978-0803953185
- Janoušková, S., Pyskatá Rathouská, L., Žák, V., & Urválková, E. S. (2023). The scientific thinking and reasoning framework and its applicability to manufacturing and services firms in natural sciences. *Research in Science and Technological Education*, 41(2), 653–674.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1928048>
- Opitz, A., Heene, M., & Fischer, F. (2017). Measuring scientific reasoning—a review of test instruments. *Educational Research and Evaluation*, 23(3–4), 78–101.
<https://doi.org/10.1080/13803611.2017.1338586>
- Pedaste, M., Baucal, A., & Reisenbuk, E. (2021). Towards a science inquiry test in primary education: development of items and scales. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 1–19.
<https://doi.org/10.1186/s40594-021-00278-z>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Peteranderl, S., & Edelsbrunner, P. (2020). The Predictive Value of Children’s Understanding of Indeterminacy and Confounding for Later Mastery of the Control-of-Variables Strategy. *Frontiers in Psychology*, 11, 2613. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.531565>
- Schlatter, E., Molenaar, I., & Lazonder, A. W. (2020). Individual differences in children’s development of scientific reasoning through inquiry-based instruction: Who needs additional guidance? *Frontiers in Psychology*, 11, 904. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00904>