

Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία

Τόμ. 2, Αρ. 2 (2022)

12ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΝΕΦΕΤ, Ειδικό Τεύχος



Η εξέλιξη της ομαδικής και ατομικής επιχειρηματολογίας, καθώς και της γνώσης περιεχομένου των φοιτητών/τριών του Π.Τ.Δ.Ε. (ΕΚΠΑ) σε προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής

Γεώργιος Τσιφτσής, Κρυσταλλία Χαλκιά

doi: [10.12681/riste.30649](https://doi.org/10.12681/riste.30649)

Βιβλιογραφική αναφορά:

Τσιφτσής Γ., & Χαλκιά Κ. (2022). Η εξέλιξη της ομαδικής και ατομικής επιχειρηματολογίας, καθώς και της γνώσης περιεχομένου των φοιτητών/τριών του Π.Τ.Δ.Ε. (ΕΚΠΑ) σε προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής. *Έρευνα για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία*, 2(2). <https://doi.org/10.12681/riste.30649>

Η εξέλιξη της ομαδικής και ατομικής επιχειρηματολογίας, καθώς και της γνώσης περιεχομένου των φοιτητών/τριών του Παιδαγωγικού Τμήματος σε προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής

Γεώργιος Τσιφτσής & Κρυσταλλία Χαλκιά

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης,
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
geotsif@primedu.uoa.gr, kxalkia@primedu.uoa.gr

Περίληψη

Η παρούσα έρευνα εξετάζει αν υπάρχει εξέλιξη τόσο στην ατομική και ομαδική επιχειρηματολογία δεκαεπτά προπτυχιακών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ (ΕΚΠΑ), όσο και στην επιστημονική τους γνώση, καθώς επιχειρηματολογούν κατά τη διαδοχική επεξεργασία πέντε προβλημάτων της Νευτώνειας Μηχανικής. Στη βιβλιογραφία, δεν υπάρχουν πολλές έρευνες που να εξετάζουν την παράλληλη εξέλιξη φοιτητών στη δομή της επιχειρηματολογίας και στο επιστημονικό περιεχόμενο σε θέματα Νευτώνειας Μηχανικής. Η έρευνα διεξήχθη μέσω Skype λόγω της πανδημίας Covid-19. Οι φοιτητές καταναμήθηκαν σε τέσσερις ομάδες. Βιντεοσκοπήθηκαν είκοσι συζητήσεις των φοιτητών εναλλασσόμενες με τις παρεμβάσεις του ερευνητή και δόθηκαν ερωτηματολόγια πριν και μετά την παρέμβαση (pre- και post-tests). Αξιοποιήθηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης. Η προφορική και η γραπτή επιχειρηματολογία αναλύθηκαν με βάση δύο διαφορετικά μοντέλα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η εμπλοκή των φοιτητών στην επιχειρηματολογία συμβάλλει στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων της ατομικής και της ομαδικής επιχειρηματολογίας τους, καθώς και στη βελτίωση του εννοιολογικού τους επιπέδου στις περισσότερες εφαρμογές της Νευτώνειας Μηχανικής.

Λέξεις κλειδιά: Ατομική επιχειρηματολογία, ομαδική επιχειρηματολογία, δομή επιχειρηματολογίας, εννοιολογικό περιεχόμενο, Νόμοι Νεύτωνα.

Abstract

The present research examines the development of individual and group argumentation as well as scientific knowledge of seventeen undergraduate students of Primary Education (NKUA), as they argue on five Newtonian Mechanics problems successively. In academic literature, there are few studies that

examine students' parallel development in both argumentation structure and scientific content on Newtonian Mechanics subjects. The research was conducted via Skype due to the Covid-19 pandemic. The students were distributed into four groups. Twenty student's discussions alternating with the researcher's interventions were videotaped and questionnaires were given before and after the intervention (pre- and post-tests). Qualitative methods of analysis were used. Oral and written argumentation were analyzed based on two different models. According to the results, engaging students in argumentation contributes to the development of their individual and group argumentation skills, as well as to the improvement of their conceptual level in most applications of Newtonian Mechanics.

Key words: Individual argumentation, group argumentation, argumentation structure, conceptual content, Newton's laws.

Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες η επιχειρηματολογία παίζει κυρίαρχο ρόλο στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες (Osborne et al., 2004· Henderson et al., 2018). Σύμφωνα με τους Duschl et al. (2007, σ.2), «οι μαθητές/τριες, προκειμένου να θεωρηθούν ότι βρίσκονται σε πολύ καλό επίπεδο ως προς τις φυσικές επιστήμες, θα πρέπει αφενός να αποκτήσουν τις απαραίτητες γνώσεις και αφετέρου να μπορούν να αναπτύξουν συλλογισμούς σχετικά με αυτές. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει: 1) να γνωρίζουν, να κατανοούν και να μπορούν να αξιοποιήσουν τις επιστημονικές εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων, 2) να μπορούν να αναπτύξουν και να αξιολογούν επιστημονικά τεκμήρια και ερμηνείες, 3) να κατανοούν τη φύση της επιστήμης και 4) να μπορούν να συμμετέχουν παραγωγικά στις επιστημονικές πρακτικές και στο διάλογο για επιστημονικά θέματα».

Οι μαθητές όλων των βαθμίδων καθώς και οι φοιτητές θα πρέπει να ασκούνται συνεχώς στο να επιχειρηματολογούν στα μαθήματα των φυσικών επιστημών και σε διάφορα επιστημονικά ζητήματα με τον ίδιο τρόπο όπως και οι επιστήμονες, δηλαδή να αιτιολογούν με τα κατάλληλα τεκμήρια τους ισχυρισμούς που οι ίδιοι/ες δημιουργούν και προβάλλουν (Sampson & Clark, 2008· Τζικούλη & Σκουμιάς, 2016). Η επιχειρηματολογία των μαθητών είναι μια απαραίτητη δεξιότητα προκειμένου να εξηγούν τα φυσικά φαινόμενα και να καθορίζουν πώς και γιατί συμβαίνουν. Επιπλέον, όταν οι μαθητές διατυπώνουν έναν ισχυρισμό θα πρέπει να μπορούν να τον τεκμηριώνουν με τα κατάλληλα αποδεικτικά στοιχεία, καθώς επίσης θα πρέπει να μπορούν να κρίνουν ένα επιχείρημα που προβάλλεται (Τζικούλη & Σκουμιάς, 2016).

Επιπλέον, θα πρέπει να επισημανθεί ότι είναι πολύ σημαντικό οι μαθητές να έχουν καλή γνώση περιεχομένου για να μπορούν να επιχειρηματολογούν πάνω σε αυτό, καθώς η γνώση περιεχομένου επηρεάζει την άσκηση των μαθητών στην επιχειρηματολογία επί επιστημονικών θεμάτων (Liu et al., 2019).

Η παρούσα έρευνα μελετάει την εξέλιξη της επιχειρηματολογίας και της γνώσης του επιστημονικού περιεχομένου των φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ του ΕΚΠΑ, μέσα από μία σειρά πέντε προβλημάτων της Νευτώνειας Μηχανικής. Οι λόγοι επιλογής της Νευτώνειας Μηχανικής είναι οι εξής:

- α) Ελάχιστες έρευνες έχουν διεξαχθεί ως προς την επιχειρηματολογία των φοιτητών στη Νευτώνεια Μηχανική.
- β) Οι φοιτητές έχουν τα ερεθίσματα από εφαρμογές των Νόμων του Νεύτωνα στην καθημερινή ζωή και σε συνδυασμό με την όποια προηγούμενη γνώση διαθέτουν από τη δευτεροβάθμια αλλά και την τριτοβάθμια εκπαίδευση, είναι σε θέση να εκφράζουν τις απόψεις και τα επιχειρήματά τους στα συγκεκριμένα προβλήματα.
- γ) Πολλές από τις απόψεις που εκφράζουν οι φοιτητές στα προβλήματα της Νευτώνειας Μηχανικής αποτελούν εναλλακτικές ιδέες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αντικρούσεων ανάμεσα στους φοιτητές κατά τη διάρκεια του διάλογου τους και οι αντικρούσεις αποτελούν ένα πολύ σημαντικό δομικό στοιχείο του επιχειρήματος.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Τι είναι η επιχειρηματολογία;

Στον όρο επιχειρηματολογία έχουν αποδοθεί πολλοί ορισμοί. Αρχικά, ο Toulmin (1958) διατύπωσε την άποψη πως τα επιχειρήματα είναι λογικά συμπεράσματα που βασίζονται σε συγκεκριμένες πληροφορίες και περιέγραψε την επιχειρηματολογία ως τη διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές καταλήγουν σε ισχυρισμούς που βασίζονται σε ποσοτικά ή ποιοτικά δεδομένα, αποδεικτικά στοιχεία ή θεωρητικές γνώσεις. Σύμφωνα με τους van Eemeren κ.ά. (2002, σ. xi) «Η επιχειρηματολογία είναι μια λεκτική, κοινωνική και ορθολογική δραστηριότητα μέσα από την οποία υπερασπιζόμαστε την άποψή μας και αποσκοπούμε στην αποδοχή της, προβάλλοντας μια σειρά προτάσεων για να δικαιολογήσουμε την άποψη αυτή». Επιπλέον οι Erduran και Jimenez-Aleixandre (2007) και Erduran et al. (2015) προτείνουν τον εξής ορισμό: Η επιχειρηματολογία μπορεί να περιγραφεί ως ένα είδος λόγου μέσω του οποίου οι ισχυρισμοί δημιουργούνται και αξιολογούνται μεμονωμένα και συνεργατικά υπό το πρίσμα εμπειρικών ή θεωρητικών τεκμηρίων. Επίσης, η επιχειρηματολογία είναι μια διαδικασία στην οποία προσπαθούμε όχι μόνο να πείσουμε με τους ισχυρισμούς μας τους άλλους, αλλά να καταρρίψουμε και αντίθετους ισχυρισμούς με τα κατάλληλα τεκμήρια (Τζικουλή & Σκουμιάς, 2016· Skoumias, 2022). Τέλος, σύμφωνα με τους Martins και Macagno (2022, σ. 574), «Κατά κανόνα, η επιχειρηματολογία νοείται ως ένα διπλό φαινόμενο που αναφέρεται τόσο στο προϊόν του διαλόγου, δηλαδή στα επιχειρήματα (ισχυρισμοί που υποστηρίζονται από μία ή περισσότερες αιτιολογήσεις) που παρέχονται σε γραπτά ή προφορικά κείμενα όσο και στις διαλογικές διαδικασίες παρουσίασης απόψεων που υποστηρίζονται από αιτιολογήσεις».

Μοντέλα επιχειρηματολογίας

Για την ανάλυση της επιχειρηματολογίας έχουν κατασκευαστεί αρκετά μοντέλα (Najami et al., 2020). Το μοντέλο ανάλυσης επιχειρηματολογίας που έχει εφαρμοστεί στην πλειονότητα των ερευνών είναι εκείνο του Toulmin (1958). Με βάση το μοντέλο αυτό, τα δομικά στοιχεία του επιχειρήματος είναι τα εξής:

Ισχυρισμοί (claims): προτάσεις οι οποίες απαντούν σε μια ερώτηση ή ένα πρόβλημα και η αλήθεια αυτών τίθεται προς διερεύνηση.

Δεδομένα (data): όλα τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για να υποστηρίξουν τους ισχυρισμούς.

Εγγυήσεις (warrants): προτάσεις που αποδεικνύουν γιατί τα δεδομένα υποστηρίζουν τους ισχυρισμούς.

Υποστηρίξεις (backings): προτάσεις που στηρίζουν τις εγγυήσεις προκειμένου να ενισχύσουν τους ισχυρισμούς.

Πιστοποιήσεις (qualifiers): προτάσεις που ελέγχουν τις συνθήκες υπό τις οποίες ευσταθούν οι ισχυρισμοί.

Αντικρούσεις (rebuttals): προτάσεις που δηλώνουν υπό ποιες συνθήκες δεν αληθεύει ο ισχυρισμός και άρα καταρρίπτουν το επιχείρημα.

Επιπλέον, μια απλοποιημένη μορφή του μοντέλου του Toulmin αποτελεί το μοντέλο αξιολόγησης γραπτών επιχειρημάτων των McNeill και Krajcik (2012). Τα δομικά στοιχεία του συγκεκριμένου μοντέλου είναι τα εξής: α) ισχυρισμός (claim), δηλαδή πρόταση που απαντάει σε μια ερώτηση και ένα πρόβλημα, β) τα αποδεικτικά στοιχεία ή τεκμήρια (evidence) τα οποία είναι τα δεδομένα που υποστηρίζουν τον ισχυρισμό, γ) ο συλλογισμός (reasoning), δηλαδή η πρόταση που συνδέει τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό και επεξηγεί την αιτία στην οποία τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν ως αποδεικτικά στοιχεία του επιχειρήματος μέσα από επιστημονικές αρχές και δ) η αντίκρουση (rebuttal), η οποία είναι πρόταση που δηλώνει αντίθεση σε έναν εναλλακτικό ισχυρισμό, ότι δηλαδή είναι λανθασμένος. Θα πρέπει να σημειωθεί πως τα δεδομένα (data) είναι πληροφορίες και στοιχεία χωρίς να έχουν κριθεί και αξιολογηθεί, ενώ τα τεκμήρια – αποδεικτικά στοιχεία (evidence) είναι όταν τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για να προσπαθήσουν να αποδείξουν ή να διαψεύσουν μια συγκεκριμένη πρόταση.

Το συγκεκριμένο μοντέλο, επιλέχθηκε για την αξιολόγηση των γραπτών επιχειρημάτων αντί του μοντέλου του Toulmin, διότι σε αντίθεση με το μοντέλο του Toulmin που εξετάζει μόνο τη δομή του επιχειρήματος μέσω της επάρκειας των δομικών στοιχείων, το μοντέλο των McNeill και Krajcik εξετάζει εκτός από τη δομή και το επιστημονικό περιεχόμενο του επιχειρήματος. Επιπλέον υπάρχει δυσκολία ως προς τη διάκριση μεταξύ τριών δομικών στοιχείων του μοντέλου του Toulmin και συγκεκριμένα της εγγύησης, της πιστοποίησης και της υποστήριξης (Σκουμιάς & Χατζηνικήτα, 2014).

Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται μια κλίμακα διαβαθμισμένων κριτηρίων για την αξιολόγηση των παραπάνω δομικών στοιχείων. Η κλίμακα αξιολογεί συνολικά τη δομή και το εννοιολογικό περιεχόμενο των επιχειρημάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, τα επιχειρήματα υψηλότερης ποιότητας χαρακτηρίζονται από την καταλληλότητα ως προς το περιεχόμενό τους και από την επάρκεια ως προς τη δομή τους. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας (πίνακας 1) με το μοντέλο ανάλυσης των γραπτών επιχειρημάτων σύμφωνα με τους McNeill και Krajciak (2012), όπου χαρακτηριστικό είναι πως δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ δομής και επιστημονικού περιεχομένου.

Πίνακας 1: Το μοντέλο ανάλυσης γραπτού επιχειρήματος των McNeill και Krajciak (2012)

Δομικά στοιχεία	Επίπεδα		
	0	1	2
Ισχυρισμός	0	1	2
	Κανένας ισχυρισμός ή λανθασμένος ισχυρισμός.	Σωστός αλλά μη επαρκής ισχυρισμός.	Σωστός και επαρκής ισχυρισμός.
Αποδεικτικά στοιχεία	0	1	2
	Καθόλου αποδεικτικά στοιχεία ή ακατάλληλα (που δεν υποστηρίζουν τον ισχυρισμό)	Κατάλληλα αλλά μη επαρκή αποδεικτικά στοιχεία. Πιθανώς και να προβάλλονται και κάποια ακατάλληλα τεκμήρια.	Κατάλληλα και επαρκή αποδεικτικά για να υποστηρίξουν τον ισχυρισμό.
Συλλογισμός	0	1	2
	Κανένας συλλογισμός ή συλλογισμός που να μην συνδέει τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό.	Επανάληψη αποδεικτικών στοιχείων και σύνδεση με τον ισχυρισμό. Ενδέχεται να περιλαμβάνονται και μερικές σωστές επιστημονικές προτάσεις/αρχές αλλά να μην είναι επαρκείς.	Σωστός και πλήρης συλλογισμός που να συνδέει κατάλληλα τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό. Προβάλλονται κατάλληλες και επαρκείς επιστημονικές προτάσεις.
Αντίκρουση	0	1	2
	Καθόλου αντίκρουση ή λανθασμένη αντίκρουση	Σωστή αλλά μη επαρκής αντίκρουση	Σωστή και επαρκής αντίκρουση

Μία τροποποίηση του μοντέλου του Toulmin είναι το μοντέλο των Clark και Sampson (2008). Το μοντέλο αυτό αξιολογεί ατομικά την ποιότητα των εδραιώσεων. Σύμφωνα με τους Osborne et al. (2004), οι εδραιώσεις είναι μία κατηγορία που περιλαμβάνει τρία δομικά στοιχεία του μοντέλου του Toulmin (1958) και συγκεκριμένα τα δεδομένα (data), τις εγγυήσεις (warrants) και τις υποστηρίξεις (backings). Επιπλέον, το μοντέλο των Clark & Sampson αξιολογεί και την επιστημονική γνώση.

Συγκεκριμένα, τα επίπεδα των εδραιώσεων είναι τα εξής:

Επίπεδο 0: Όχι εδραιώσεις (*No grounds*)

Επίπεδο 1: Εξήγηση μόνο (*Explanation only*)

Επίπεδο 2: Δεδομένα/Τεκμήρια (*Evidence*)

Επίπεδο 3: Εξήγηση που συνδυάζει τεκμήρια (*Explanation that coordinates evidence*)

Τα εννοιολογικά επίπεδα (*conceptual levels*) είναι τα παρακάτω:

Επίπεδο 0: Επιχειρηματολογία μη σύμφωνη με την επιστημονική γνώση (*non-normative*)

Επίπεδο 1: Επιχειρηματολογία μερικώς σύμφωνη με την επιστημονική γνώση (*transitional*)

Επίπεδο 2: Επιχειρηματολογία σύμφωνη με την επιστημονική γνώση (*normative*)

Επίπεδο 3: Προτάσεις με περισσότερο τεκμηριωμένη επιστημονική άποψη (*nuanced*)

Εκτός από την ατομική αξιολόγηση, τα επιχειρήματα αξιολογούνται και ομαδικά ανά επεισόδια. Τα επίπεδα ομαδικής επιχειρηματολογίας στηρίζονται στα δομικά στοιχεία των επιχειρημάτων ως εξής:

Επίπεδο 0: Επιχειρηματολογία χωρίς αντιπαράθεση/ διαφωνία.

Επίπεδο 1: Επιχειρηματολογία με αντιτιθέμενους ισχυρισμούς, χωρίς εδραιώσεις ή αντικρούσεις.

Επίπεδο 2: Επιχειρηματολογία με αντιτιθέμενους ισχυρισμούς, με εδραιώσεις, χωρίς αντικρούσεις.

Επίπεδο 3: Επιχειρηματολογία με αντιτιθέμενους ισχυρισμούς, με εδραιώσεις και μία μόνο αντίκρουση στον ισχυρισμό.

Επίπεδο 4: Επιχειρηματολογία με πολλές αντικρούσεις στον ισχυρισμό, αλλά χωρίς αντίκρουση στις εδραιώσεις.

Επίπεδο 5: Επιχειρηματολογία με πολλές αντικρούσεις στον ισχυρισμό και τουλάχιστον μία αντίκρουση στις εδραιώσεις.

Η σημασία της επιχειρηματολογίας στα μαθήματα των φυσικών επιστημών

Η επιχειρηματολογία αποτελεί μια σημαντική διαδικασία στα μαθήματα φυσικών επιστημών, καθώς η εμπλοκή μαθητών καθώς και φοιτητών σε αυτήν βοηθά να κατανοήσουν το επιστημονικό περιεχόμενο, να εμπλουτίσουν τις γνώσεις τους και να εκφράσουν τις αντιλήψεις τους (Osborne, 2019). Όπως οι έρευνες δείχνουν, οι μαθητές και φοιτητές, στις σπάνιες

περιπτώσεις εμπλοκής τους στη διαδικασία αυτή (Driver et al., 2000), συμμετέχουν πιο πρόθυμα στην επιχειρηματολογία για κοινωνικό-επιστημονικά θέματα που άπτονται των φυσικών επιστημών (Georgiou et al., 2020) παρά για θέματα εστιασμένα στο επιστημονικό περιεχόμενο (Pabuccu & Erduran, 2017). Επιπλέον, η συνεργασία μεταξύ των μαθητών στα μαθήματα των φυσικών επιστημών φαίνεται να συμβάλει στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων επιχειρηματολογίας (Sampson & Clark, 2009).

Παρόλα αυτά, η συμμετοχή των μαθητών καθώς και των φοιτητών στη διαδικασία της επιχειρηματολογίας είναι σπάνια (Driver et al., 2000· Sampson & Blanchard, 2012· Evagorou & Osborne, 2013). Αυτό οφείλεται στους εξής λόγους:

- Δυσκολία από την πλευρά των εκπαιδευτικών να ορίσουν επακριβώς το μέγεθος των ομάδων των μαθητών και των φοιτητών που απαιτείται για τη συμμετοχή τους στην επιχειρηματολογία (Driver et al., 2000).
- Έλλειψη προϋπάρχουσες γνώσεις μαθητών και φοιτητών όσον αφορά στην επιχειρηματολογία, καθώς επίσης και στη θεωρία και το περιεχόμενο του αντικειμένου προς μελέτη (Driver et al., 2000).
- Έλλειψη παιδαγωγικών γνώσεων, δεξιοτήτων επιχειρηματολογίας και κατάλληλων διδακτικών πόρων από τους εκπαιδευτικούς (Sampson & Blanchard, 2012).
- Δυσκολία των εκπαιδευτικών να αποδεχτούν ότι η επιχειρηματολογία αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο για να μάθουν οι μαθητές/τριες το επιστημονικό περιεχόμενο (Cebrian-Robles et al., 2018). Παρόλο που έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες από τους εκπαιδευτικούς να εφαρμόσουν στα μαθήματα των φυσικών επιστημών τεχνικές και μεθόδους επιχειρηματολογίας, κυρίως μέσω της ρητής της διδασκαλίας, με σκοπό να βοηθήσουν τους μαθητές και τους φοιτητές να εξελίξουν τις δεξιότητες επιχειρηματολογίας τους, σπάνια έχουν καταγραφεί τα επιθυμητά αποτελέσματα (Ibraim & Justi, 2016).
- Δυσκολία των μαθητών και των φοιτητών να κρίνουν και να αξιολογούν τους ισχυρισμούς, τα επιχειρήματα και τα αντεπιχειρήματα, όπως επίσης και να εξετάζουν την εγκυρότητα των επιστημονικών εξηγήσεων (Sampson & Clark, 2008).
- Μη χρήση επαρκών και αξιόπιστων τεκμηρίων από τους μαθητές για να αιτιολογήσουν τους ισχυρισμούς τους (Sandoval & Millwood, 2005).

Η συμβολή της επιχειρηματολογίας στην εννοιολογική αλλαγή

Πολλές μελέτες αποκαλύπτουν ότι η επιχειρηματολογία έπαιξε σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της επιστημονικής γνώσης των μαθητών και των φοιτητών (Hakyolu & Ogan-Bekiroglu, 2016). Ωστόσο, υπάρχουν μερικές μελέτες όπου η επιχειρηματολογία δεν συνέβαλε στη βελτίωση της επιστημονικής γνώσης και της εννοιολογικής αλλαγής, επειδή, παρά τα υψηλά δομικά επίπεδα επιχειρηματολογίας που καταγράφηκαν, τα επιχειρήματα βασίστηκαν στο μεγαλύτερο βαθμό σε εναλλακτικές ιδέες και όχι στην επιστημονική γνώση (Shemwell & Furtak, 2010).

Η θεματική ενότητα στην οποία εφαρμόζεται η συγκεκριμένη έρευνα είναι η Νευτώνεια Μηχανική. Έχει διεξαχθεί ένας μικρός αριθμός μελετών που σχετίζονται με την επιχειρηματολογία των μαθητών σε θέματα που αφορούν στους Νόμους του Νεύτωνα. Οι περισσότερες από αυτές έδειξαν ότι η εμπλοκή των μαθητών σε προβλήματα, η λύση των οποίων απαιτεί την κατανόηση της γνώσης του περιεχομένου των Νόμων του Νεύτωνα, μπορεί να τους παρακινήσει να αναπτύξουν τα επιχειρήματά τους, επομένως, η συγκεκριμένη γνωστική περιοχή της φυσικής είναι η κατάλληλη για αυτόν το σκοπό (Eskin & Ogan – Bekiroglu, 2013; Μαστρογιωργάκη & Σκουμιός, 2019; Admoko et al., 2021).

Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών μας δίνουν το έναυσμα να ερευνήσουμε δύο επιπλέον βασικές παραμέτρους: Αρχικά, πέρα από την εξέλιξη της επιχειρηματολογίας ως προς τη δομή της, είναι εξίσου σημαντικό οι φοιτητές να βελτιώνουν μέσα από την επιχειρηματολογία και την επιστημονική γνώση κατά τη διαδοχική επεξεργασία πέντε προβλημάτων της Νευτώνειας Μηχανικής. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να εξετάζεται και αν οι φοιτητές καταφέρνουν να αναδομούν τις εναλλακτικές τους ιδέες, έτσι ώστε να κατακτούν τη γνώση του επιστημονικού περιεχομένου των προβλημάτων αυτών. Για αυτόν το λόγο εξετάζουμε και τη συνέπεια μεταξύ δομής επιχειρηματολογίας και επιστημονικού περιεχομένου. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να εξετάσουμε αν και στην παρούσα έρευνα η ομαδική επιχειρηματολογία συμβάλλει στη βελτίωση της δομής και του επιστημονικού περιεχομένου της επιχειρηματολογίας των φοιτητών. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχουμε αν ο διάλογος ο οποίος είναι βασικό χαρακτηριστικό της ομαδικής επιχειρηματολογίας, βοηθάει τους φοιτητές να εξελίσσουν την επιχειρηματολογία τους και να περιορίσουν τις εναλλακτικές τους ιδέες σε προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής.

Μεθοδολογία

Ερευνητικά ερωτήματα και σκοπός της έρευνας

Τα ερευνητικά ερωτήματα είναι τα εξής:

- α) Υπάρχει εξέλιξη στην ατομική και ομαδική επιχειρηματολογία των προπτυχιακών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ (ΕΚΠΑ), καθώς επεξεργάζονται διαδοχικά πέντε προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής;
- β) Υπάρχει εξέλιξη στην επιστημονική γνώση των προπτυχιακών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ (ΕΚΠΑ), καθώς επιχειρηματολογούν κατά τη διαδοχική επεξεργασία πέντε προβλημάτων Νευτώνειας Μηχανικής;

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να απαντήσει στα ανωτέρω ερωτήματα εξετάζοντας τα, μέσα από μία σειρά πέντε προβλημάτων και αντίστοιχων παρεμβάσεων σε θέματα Νευτώνειας Μηχανικής. Επομένως, θα ερευνηθεί τόσο η εξέλιξη της ατομικής και ομαδικής επιχειρηματολογίας των φοιτητών, όσο και η εξέλιξη της επιστημονικής τους γνώσης.

Ο λόγος της επιλογής αυτού του διδακτικού πλαισίου είναι ότι, όπως αποκαλύπτεται σε πολλές μελέτες (βλ. Πίνακα 2), οι μαθητές καθώς και οι φοιτητές αναπτύσσουν ισχυρές

εναλλακτικές ιδέες με αφορμή τα θέματα που εντάσσονται σε αυτό το πλαίσιο. Παρέχεται, επομένως, πρόσφορο έδαφος για τη δημιουργία ισχυρών επιχειρημάτων και αντικρούσεων μεταξύ των μελών μιας ομάδας.

Δείγμα

Το δείγμα της κυρίως έρευνας αποτελούνταν από 17 προπτυχιακούς φοιτητές, οι οποίοι ήταν κατανομημένοι σε τέσσερις ομάδες εκ των οποίων οι τρεις αποτελούνταν από τέσσερις φοιτητές και η τέταρτη από πέντε. Οι ομάδες επιλέχτηκαν τυχαία με κριτήριο την κοινή ημέρα και ώρα που θα μπορούσαν να συμμετάσχουν οι φοιτητές στην έρευνα. Ως προς το φύλο, οι 3 στους 17 φοιτητές ήταν αγόρια και οι υπόλοιποι 14/17 φοιτητές κορίτσια. Το δείγμα τόσο των πιλοτικών όσο και της κυρίως έρευνας θεωρείται βολικό, καθώς ο ερευνητής είναι υποψήφιος διδάκτορας στο ΠΤΔΕ του ΕΚΠΑ. Οι φοιτητές προέρχονταν κυρίως από το Δ' και Στ' εξάμηνο και η πλειοψηφία, εκτός τριών από τρεις ομάδες, είχαν περάσει στο Πανεπιστήμιο το μάθημα της Φυσικής και συγκεκριμένα 7 με «άριστα», 4 με «λίαν καλώς» και 3 με «καλώς».

Σχεδιασμός Έρευνας

Κατ' αρχήν, διεξήχθη πιλοτική έρευνα για τον έλεγχο της αναγνωσιμότητας των προβλημάτων που θα χρησιμοποιούσαμε στην κυρίως έρευνα. Το δείγμα της πιλοτικής αποτελούνταν από 6 φοιτήτριες του ΠΤΔΕ χωρισμένες σε μία δυάδα και μία τετράδα. Η τετράδα επιχειρηματολόγησε ως προς τα προβλήματα 1, 2 και 3 ενώ η δυάδα ως προς τα προβλήματα 4 και 5 (βλ. παρακάτω). Ακολούθησε η κυρίως έρευνα.

Η θεματική περιοχή εφαρμογής της έρευνας

Η θεματική περιοχή στην οποία εστίασε η κυρίως έρευνα ήταν η Νευτώνεια Μηχανική. Τα πέντε θέματα που επελέγησαν είχαν ως στόχο αφενός την εννοιολογική αλλαγή των ιδεών των φοιτητών στο επιστημονικό πεδίο της Νευτώνειας Μηχανικής και αφετέρου την άσκησή τους στη χρήση της επιχειρηματολογίας. Για τον σκοπό αυτό, επελέγησαν θέματα που α) αναφέρονται σε καταστάσεις της καθημερινής ζωής που είναι οικείες στους φοιτητές, β) η διαπραγμάτευσή τους απαιτεί τη γνώση των νόμων του Νεύτωνα, καθώς και του εμπειρικού νόμου που αφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν το μέτρο της τριβής ολίσθησης και γ) κατά τον χειρισμό τους οι φοιτητές αναδεικνύουν εναλλακτικές ιδέες, γεγονός που διευκολύνει την ανάπτυξη της επιχειρηματολογίας και την προβολή αντικρούσεων. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2) παρατίθενται τα θέματα Νευτώνειας Μηχανικής που επελέγησαν για την έρευνα, καθώς και οι αντίστοιχες εναλλακτικές ιδέες, που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αναδείχθηκαν ως πιο ισχυρές και για αυτόν το λόγο αποτέλεσαν τη βάση για το σχεδιασμό των θεμάτων της έρευνας.

Πίνακας 2: Θέματα Νευτώνειας Μηχανικής και οι αντίστοιχες εναλλακτικές ιδέες

Θέματα	Εναλλακτικές Ιδέες
Παράγοντες που επηρεάζουν το μέτρο της τριβής ολίσθησης ενός σώματος	Το μέτρο της τριβής ολίσθησης εξαρτάται από το εμβαδόν επιφάνειας δύο αντικειμένων που έρχονται σε επαφή (Besson et al., 2010).
1 ^{ος} Νόμος Νεύτωνα: Ισορροπία ακίνητου σώματος	Στα ακίνητα σώματα δεν ασκούνται καθόλου δυνάμεις ή ασκείται μόνο η δύναμη της βαρύτητας. Στα σώματα που κινούνται με σταθερή ταχύτητα ασκείται συνεχώς μία σταθερή δύναμη κατά την κατεύθυνση της κίνησης (Hestenes et al., 1992).
2 ^{ος} Νόμος Νεύτωνα: Ελεύθερη Πτώση	Τα βαρύτερα σώματα φτάνουν στο έδαφος γρηγορότερα από τα ελαφρύτερα σώματα (Hestenes et al., 1992).
2 ^{ος} Νόμος Νεύτωνα: Κατακόρυφη βολή προς τα πάνω	Η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα ενσωματώνεται σε αυτό και σταδιακά μειώνεται (Hestenes et al., 1992).
3 ^{ος} Νόμος Νεύτωνα: Σύγκριση δυνάμεων που ασκούνται ανάμεσα σε δύο αντικείμενα με διαφορετικές μάζες	Η δύναμη που ασκείται από το βαρύτερο αντικείμενο στο ελαφρύτερο είναι μεγαλύτερη από αυτήν που ασκείται από το ελαφρύτερο στο βαρύτερο (Hestenes et al., 1992).

Η παρέμβαση

Στάδια παρέμβασης: Η πρώτη φάση ήταν εισαγωγική και επικεντρώθηκε στην παρουσίαση και ανάλυση των κύριων δομικών στοιχείων ενός επιχειρήματος από τον ερευνητή. Μετά από αυτό, για καθένα από τα πέντε προβλήματα της Νευτώνειας Μηχανικής που επιλέχθηκαν (βλ. Πίνακα 2), η παρέμβαση περιελάμβανε δύο φάσεις. Στη δεύτερη φάση, οι φοιτητές κλήθηκαν να συζητήσουν με τις ομάδες τους τις ιδέες τους διαδοχικά κάθε φορά για ένα πρόβλημα. Όλες οι συζητήσεις βιντεοσκοπήθηκαν με σκοπό την καταγραφή της ομαδικής επιχειρηματολογίας. Στην τρίτη φάση, ο ερευνητής, έχοντας μελετήσει την καταγεγραμμένη επιχειρηματολογία, σχολίασε την ποιότητα των επιχειρημάτων (τον τρόπο που είχαν δομηθεί), καθώς και τη γνώση του επιστημονικού περιεχομένου και τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να βελτιωθεί. Τέλος μία εβδομάδα πριν την παρέμβαση και τρεις εβδομάδες μετά αντίστοιχα, δόθηκαν στους φοιτητές τα pre- και post-tests (γραπτή επιχειρηματολογία). Συνολικά, η παρέμβαση αποτελούνταν από έντεκα στάδια, τα οποία συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 3):

Πίνακας 3: Στάδια παρέμβασης

Στάδια	Περιγραφή
1 ^ο	Παρουσίαση και ανάλυση των κύριων δομικών στοιχείων ενός επιχειρήματος από τον ερευνητή.
2 ^ο	Συζήτηση φοιτητών– συλλογική επιχειρηματολογία στο 1 ^ο πρόβλημα: Παράγοντες που επηρεάζουν την τριβή ολίσθησης.
3 ^ο	Σχολιασμός σχετικά με την ποιότητα των επιχειρημάτων των φοιτητών - σε συνδυασμό με την επιστημονική γνώση- από τον ερευνητή.
4 ^ο	Συζήτηση φοιτητών – συλλογική επιχειρηματολογία στο 2 ^ο πρόβλημα: Ισορροπία ακίνητου σώματος: 1ος Νόμος του Νεύτωνα.
5 ^ο	Σχολιασμός σχετικά με την ποιότητα των επιχειρημάτων των φοιτητών - σε συνδυασμό με την επιστημονική γνώση- από τον ερευνητή.
6 ^ο	Συζήτηση φοιτητών– συλλογική επιχειρηματολογία στο 3 ^ο πρόβλημα: Ελεύθερη πτώση: 2ος Νόμος του Νεύτωνα.
7 ^ο	Σχολιασμός σχετικά με την ποιότητα των επιχειρημάτων των φοιτητών - σε συνδυασμό με την επιστημονική γνώση- από τον ερευνητή.
8 ^ο	Συζήτηση φοιτητών– συλλογική επιχειρηματολογία στο 4 ^ο πρόβλημα: Κάθετη βολή προς τα πάνω: 2ος νόμος του Νεύτωνα.
9 ^ο	Σχολιασμός σχετικά με την ποιότητα των επιχειρημάτων των φοιτητών - σε συνδυασμό με την επιστημονική γνώση- από τον ερευνητή.
10 ^ο	Συζήτηση φοιτητών– συλλογική επιχειρηματολογία στο 5 ^ο πρόβλημα: Σύγκριση δυνάμεων μεταξύ Γης και Σελήνης: 3ος Νόμος του Νεύτωνα.
11 ^ο	Σχολιασμός σχετικά με την ποιότητα των επιχειρημάτων των φοιτητών - σε συνδυασμό με την επιστημονική γνώση- από τον ερευνητή.

Θα πρέπει να επισημανθεί, ότι η όλη παρέμβαση -λόγω της πανδημίας Covid-19 και του συνακόλουθου lockdown- δεν πραγματοποιήθηκε δια ζώσης αλλά μέσω Skype. Η έρευνα διήρκεσε 10 εβδομάδες.

Ερευνητικά εργαλεία - συλλογή δεδομένων

Το ερευνητικά εργαλεία ήταν τα εξής: α) Είκοσι βιντεοσκοπήσεις (5 θέματα × 4 ομάδες) στις οποίες, κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, καταγράφηκαν ομαδικές συζητήσεις σχετικά με τις προτεινόμενες λύσεις σε κάθε πρόβλημα και β) δύο ερωτηματολόγια που αποτελούνταν από πέντε ερωτήσεις ανοικτού τύπου σχετικά με προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής και απαντήθηκαν μεμονωμένα από τους/τις φοιτητές. Για τα προβλήματα των δύο ερωτηματολογίων έγινε προσπάθεια ώστε:

- 1) να αναφέρονται στους τρεις νόμους του Νεύτωνα καθώς και στον εμπειρικό νόμο της τριβής,
- 2) να είναι ανοιχτά προβλήματα ώστε να μπορούν οι φοιτητές όχι μόνο να δώσουν μια προτεινόμενη λύση στο εκάστοτε πρόβλημα, αλλά να αναπτύξουν και τα επιχειρήματά τους πάνω σε αυτά καθώς και τις αντικρούσεις τους,
- 3) να είναι αντίστοιχα και ισοδύναμα μεταξύ pre και post-test ώστε να μπορούμε να διαπιστώσουμε την πρόοδο των φοιτητών. Ισοδύναμα προβλήματα εννοούμε ότι αναφέρονται στο ίδιο θέμα και είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένα ώστε να εστιάζουν στην ίδια εναλλακτική ιδέα.

Το αρχικό ερωτηματολόγιο (pre-test) συγκροτήθηκε με βασικό στόχο να αναδείξει το αρχικό επίπεδο των γραπτών επιχειρημάτων των φοιτητών στα συγκεκριμένα θέματα της Νευτώνειας Μηχανικής τόσο ως προς τη δομή όσο και ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο. Ένας επιπλέον στόχος ήταν η ανάδειξη των εναλλακτικών ιδεών των φοιτητών σε αυτά τα προβλήματα που θα βοηθούσαν σημαντικά στη διαδικασία της παρέμβασης. Το τελικό ερωτηματολόγιο (post-test) συγκροτήθηκε με βασικό στόχο να εξεταστεί αν υπήρχε βελτίωση ή όχι στα επίπεδα των γραπτών επιχειρημάτων των φοιτητών στα συγκεκριμένα θέματα της Νευτώνειας Μηχανικής ως προς τη δομή και το επιστημονικό περιεχόμενο. Ένας επιπλέον στόχος ήταν να διαπιστωθεί αν και σε ποιο βαθμό αναδομήθηκαν οι εναλλακτικές ιδέες που είχαν οι φοιτητές κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Οι διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στις εφαρμογές και τα παραδείγματα που αναφέρονται στα προβλήματα των pre- και post-test. Σε συναφείς έρευνες, τα συγκεκριμένα ερωτήματα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ξανά.

Ανάλυση Δεδομένων

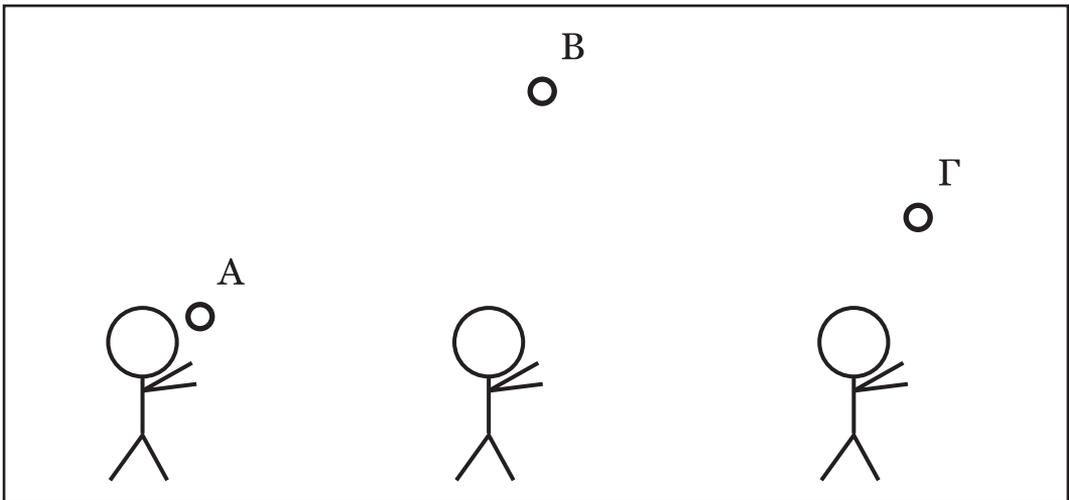
Η ανάλυση των δεδομένων βασίστηκε κυρίως σε ποιοτικές μεθόδους ανάλυσης περιεχομένου και σε μικρότερο βαθμό σε ποσοτικές μεθόδους. Η ανάλυση περιεχομένου εφαρμόστηκε κατά την ανάλυση α) της προφορικής επιχειρηματολογίας των φοιτητών και β) των γραπτών επιχειρημάτων τους που αναπτύχθηκαν στα ατομικά pre- και post-tests, καθώς τα επιχειρήματα αυτά θα έπρεπε να ενταχθούν σε επίπεδα επιχειρήματος ως προς τη δομή και το επιστημονικό περιεχόμενο. Η ποσοτική ανάλυση ακολουθήθηκε κατά τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των pre- και post-tests και του υπολογισμού του μέσου επιπέδου της ατομικής και ομαδικής προφορικής επιχειρηματολογίας των φοιτητών.

Προφορική ομαδική επιχειρηματολογία

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν είκοσι απομαγνητοφωνήσεις των βιντεοσκοπήσεων με σκοπό την ανάλυση των δεδομένων τους. Όσον αφορά στην προφορική επιχειρηματολογία των φοιτητών, εφαρμόστηκε ανάλυση περιεχομένου και, έπειτα, η ομαδική και η ατομική επιχειρηματολογία αξιολογήθηκαν ως προς τη δομή και το εννοιολογικό περιεχόμενο με βάση το μοντέλο των Clark και Sampson (2008). Στη συνέχεια, τα επεισόδια κατατάχθηκαν σε

επίπεδα και υπολογίστηκε το μέσο επίπεδο ομαδικής και ατομικής επιχειρηματολογίας (εδραιώσεις και εννοιολογικό περιεχόμενο) για κάθε πρόβλημα. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο, σε αντίθεση με άλλα μοντέλα, είναι ότι αξιολογεί και την ομαδική επιχειρηματολογία και όσον αφορά στην ατομική, πέρα από τις εδραιώσεις εξετάζει και το εννοιολογικό περιεχόμενο της επιχειρηματολογίας των φοιτητών/τριών. Παρακάτω παραθέτουμε ένα απόσπασμα διαλόγου από το πρόβλημα 4 (κατακόρυφη βολή προς τα πάνω) της ομάδας Δ. Το πρόβλημα αναφέρει ότι ρίχνουμε ένα μπαλάκι προς τα πάνω και οι αντιστάσεις του αέρα είναι αμελητέες. Ζητείται από τους φοιτητές να επιχειρηματολογήσουν σχετικά με το ποιες δυνάμεις ασκούνται σε τρία στιγμιότυπα: α) άνοδος, β) ανώτατο σημείο τροχιάς και γ) κάθοδος (Σχήμα 1):

Σχήμα 1: Πρόβλημα 4, ρίψη μπάλας προς τα πάνω



Φ16: Ναι σε αυτό που είπε η Φ17 αρχικά για τη Β ότι πρέπει να βάλουμε την F, αλλά για το Γ ακόμα δεν ξέρω, δεν μπορώ και δεν ξέρω και πώς να το αιτιολογήσω κιόλας, δεν ξέρω, δεν πιστεύω ότι πρέπει να βάλω την F στο Γ, αφού μόνο πέφτει, ενώ η F το τραβάει προς τα πάνω, δηλαδή και να τη βάλουμε θα είναι μηδενική, τι να πω.

Ισχυρισμός: *Ναι - στο Γ.*

Είναι **επιπέδου 1 (μερικώς κατάλληλος)** ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Δεδομένα: *αφού μόνο πέφτει.*

Το παραπάνω **δεδομένο** ως προς το εννοιολογικό επίπεδο είναι **επιπέδου 2**.

Αιτιολόγηση: *ενώ η F - μηδενική.*

Η **αιτιολόγηση** ως προς το εννοιολογικό επίπεδο είναι **επιπέδου 0**.

Συνολικά το επιχείρημα του φοιτητή Φ16 είναι **επιπέδου 1** (μερικώς κατάλληλο) ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο. Ως προς τις εδραιώσεις το επιχείρημα είναι **επιπέδου 3** (δεδομένα και αιτιολόγηση).

Φ17: Αυτό που λες πάντως, δηλαδή σκέψου όταν πηγαίνει προς τα πάνω το αντικείμενο που υπάρχει και η F και το βάρος, ότι υπάρχουν δύο δυνάμεις που είναι αντίθετες, απλώς είναι μεγαλύτερη, για αυτό πηγαίνει το αντικείμενο προς τα πάνω.

Φ16: Ναι.

Φ17: Δηλαδή μπορεί το βάρος να είναι απλώς μεγαλύτερο από την F . Δεν σου λέω, γιατί και εγώ δεν είμαι σίγουρη πώς να το τεκμηριώσω και αυτά..

Φ16: Ναι, ναι καταλαβαίνω.

Φ17: Ότι υπάρχει σίγουρα η F , αλλά σου λέω ότι υπάρχει δυνατότητα να υπάρχει η F και να πηγαίνει πάλι αντίθετα με την F το σώμα.

Μαζί και τα τρία σχόλια της Φ17 αποτελούν **αντίκρουση στον ισχυρισμό** του φοιτητή Φ16. Η συγκεκριμένη αντίκρουση είναι **επιπέδου 0**.

Δεδομένα: για αυτό πηγαίνει το αντικείμενο προς τα πάνω^α Επίπεδο 0 ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Αιτιολόγηση: Δεν υπάρχει.

Συνολικά το σχόλιο – επιχείρημα της φοιτήτριας Φ17 είναι **επιπέδου 0** ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο. Ως προς τις εδραιώσεις το επιχείρημα είναι **επιπέδου 2**.

Αν ο συγκεκριμένος διάλογος αποτελούσε και ένα επεισόδιο, αυτό θα ήταν ως προς την ομαδική επιχειρηματολογία **επιπέδου 3**, δηλαδή επιχειρηματολογία με αντιτιθέμενους ισχυρισμούς, εδραιώσεις και μία μόνο αντίκρουση στον ισχυρισμό.

Γραπτά Επιχειρήματα

Τα γραπτά επιχειρήματα των φοιτητών τόσο του αρχικού (pre-test) όσο και του τελικού ερωτηματολογίου (post-test) αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν ως προς: α) τη δομή και, συγκεκριμένα, την επάρκεια των δομικών στοιχείων του επιχειρήματος και β) επιστημονικούς περιεχόμενα. Το μοντέλο ανάλυσης και αξιολόγησης των γραπτών επιχειρημάτων ήταν αυτό των McNeill και Krajcik (2012) τροποποιημένο σε σύγκριση με το αρχικό (πίνακας 1). Συγκεκριμένα, τροποποιήθηκε η αξιολόγηση του επιπέδου 1 του ισχυρισμού και της αντίκρουσης ως εξής: Σωστός/ή αλλά μη επαρκής ισχυρισμός/αντίκρουση^α Σωστός/ή αλλά μη επαρκής ισχυρισμός/αντίκρουση και ή μερικώς σωστός /ή ισχυρισμός/αντίκρουση.

Για να ελέγξουμε την εγκυρότητα της συγκεκριμένης αξιολόγησης, δύο εξωτερικοί κριτές αξιολόγησαν τα pre- και post-tests. Μέσω του SPSS, για την εξαγωγή των δεικτών συμφωνίας

μεταξύ των κριτών εφαρμόστηκε το kappa test του Cohen. Τέλος για να εξετάσουμε αν παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των προβλημάτων του pre- και post-test, υλοποιήσαμε, ξανά μέσω του SPSS, το μη παραμετρικό τεστ του Wilcoxon. Ο λόγος που εφαρμόσαμε μη παραμετρικό τεστ ήταν ο μικρός αριθμός του δείγματος της έρευνας.

Αποτελέσματα

Αποτελέσματα ομαδικής επιχειρηματολογίας

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας (πίνακας 4) των μέσων επιπέδων ομαδικής επιχειρηματολογίας και στα πέντε προβλήματα (μέγιστο το 5).

Πίνακας 4: Μέσο επίπεδο ομαδικής επιχειρηματολογίας για κάθε πρόβλημα Νευτώνειας Μηχανικής

Ομάδες	Μέσο Επίπεδο Π1	Μέσο Επίπεδο Π2	Μέσο Επίπεδο Π3	Μέσο Επίπεδο Π4	Μέσο Επίπεδο Π5
Ομάδα Α	2,60	3,17	3,20	3,67	4,00
Ομάδα Β	3,83	3,00	3,00	4,25	3,67
Ομάδα Γ	2,67	3,33	3,00	3,67	3,50
Ομάδα Δ	2,50	3,67	3,20	3,60	3,75

Να σημειωθεί ότι η ποσότητα, δηλαδή το πλήθος των αντικρούσεων, όσο και η ποιότητά τους, δηλαδή το αν οι αντικρούσεις αφορούν στον ισχυρισμό ή στις εδραιώσεις του επιχειρήματος είναι οι δείκτες που χαρακτηρίζουν το επίπεδο (υψηλό, μέσο, ή χαμηλό) του μέσου επιπέδου ομαδικής επιχειρηματολογίας ή την εξέλιξη του μέσου επιπέδου επιχειρηματολογίας από το ένα θέμα στο άλλο.

Στον παραπάνω πίνακα 5, παρατηρούμε ότι:

- α) Η ομάδα Α παρουσίασε συνεχή βελτίωση στην ομαδική επιχειρηματολογία βαθμιαία από το Πρόβλημα 1 (Π1) έως το Πρόβλημα 5 (Π5).
- β) Οι ομάδες Α, Γ και Δ παρουσίασαν σαφή βελτίωση από το Πρόβλημα 1 (Π1) στο Πρόβλημα 2 (Π2).
- γ) Όλες οι ομάδες (Α, Β, Γ και Δ) παρουσίασαν σαφή βελτίωση από το Πρόβλημα 3 (Π3) στο Πρόβλημα 4 (Π4).
- δ) Οι ομάδες Γ και Δ παρουσίασαν οπισθοχώρηση μεταξύ των προβλημάτων 2 (Π2) και 3 (Π3) και, αντίστοιχα, η ομάδα Β παρουσίασε οπισθοχώρηση μεταξύ Π1 και Π2, στασιμότητα μεταξύ Π2 και Π3, άνοδο μεταξύ Π3 και Π4 και οπισθοχώρηση μεταξύ Π4 και Π5. Συνολικά, είχε, σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες συνολική οπισθοχώρηση.

Αποτελέσματα ατομικής επιχειρηματολογίας

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 5) παρατίθενται τα αποτελέσματα της ατομικής επιχειρηματολογίας ως προς τις εδραιώσεις (μέγιστο το 3).

Πίνακας 5: Αποτελέσματα της ατομικής επιχειρηματολογίας ως προς τις εδραιώσεις

Φοιτητές /τριες	Μέσο Επίπεδο Θέμα 1	Μέσο Επίπεδο Θέμα 2	Μέσο Επίπεδο Θέμα 3	Μέσο Επίπεδο Θέμα 4	Μέσο Επίπεδο Θέμα 5
Φ1	1,00	0,96	2,21	1,65	1,70
Φ2	1,33	0,59	1,44	0,80	1,47
Φ3	1,12	0,69	1,50	0,83	1,25
Φ4	0,11	0,73	2,80	1,68	2,14
Φ5	1,06	1,25	1,00	1,33	1,50
Φ6	0,80	2,14	2,25	2,38	1,18
Φ7	0,74	1,42	1,44	1,81	1,83
Φ8	1,36	1,10	1,82	1,72	1,80
Φ9	1,25	2,33	2,00	1,78	1,93
Φ10	1,50	2,50	1,75	2,75	0,83
Φ11	2,20	1,67	1,50	2,00	2,28
Φ12	1,50	1,00	1,33	2,25	1,82
Φ13	1,44	2,12	2,28	2,50	2,11
Φ14	2,50	2,50	2,75	2,00	1,60
Φ15	3,00	2,33	2,75	2,00	2,50
Φ16	1,33	2,00	1,88	2,11	1,88
Φ17	1,88	1,50	2,50	1,96	2,27

Συγκρίνοντας το πρώτο θέμα με το τελευταίο, παρατηρούμε ότι υπήρξε βελτίωση σε 14/17 φοιτητές, ενώ οι υπόλοιποι 3/17 παρουσίασαν οπισθοχώρηση. Όμως, επίσης παρατηρούμε ότι συνολικά (συγκρίνοντας την απόδοση των φοιτητών σε όλα τα θέματα), υπάρχουν αρκετές αυξομειώσεις από το ένα θέμα στο άλλο. Επιπλέον, τη μεγαλύτερη απόδοση την παρατηρούμε στο θέμα 3, έπειτα στο θέμα 4 και τέλος στο θέμα 5. Η φοιτήτρια Φ7 ήταν η μόνη που είχε συνεχή βελτίωση από το ένα θέμα στο άλλο. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν

ότι -στη συγκεκριμένη παρέμβαση- η ατομική επιχειρηματολογία ως προς τις εδραιώσεις εξαρτάται κυρίως από το πρόβλημα και εν μέρει από την εξάσκηση των φοιτητών/τριών.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 6) παρατίθενται τα αποτελέσματα της ατομικής επιχειρηματολογίας ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο (μέγιστο το 2).

Πίνακας 6: Αποτελέσματα της ατομικής επιχειρηματολογίας ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο

Φοιτητές/ τριες	Μέσο Επίπεδο Θέμα 1	Μέσο Επίπεδο Θέμα 2	Μέσο Επίπεδο Θέμα 3	Μέσο Επίπεδο Θέμα 4	Μέσο Επίπεδο Θέμα 5
Φ1	0,45	1,40	1,57	1,22	1,70
Φ2	0,33	0,82	0,89	1,20	1,00
Φ3	0,50	1,54	0,75	0,67	1,25
Φ4	0,33	1,23	2,00	0,73	1,71
Φ5	1,83	1,25	1,70	1,22	1,50
Φ6	0,65	1,28	1,00	1,25	1,36
Φ7	1,78	1,75	1,89	1,56	1,92
Φ8	1,50	1,20	1,00	1,60	1,40
Φ9	1,75	1,50	1,71	1,33	1,73
Φ10	0,00	1,00	1,00	0,63	1,00
Φ11	1,40	1,11	2,00	1,12	2,00
Φ12	0,00	1,60	1,00	0,75	1,18
Φ13	0,78	1,75	1,14	0,71	0,89
Φ14	0,00	2,00	1,00	0,33	0,80
Φ15	2,00	1,67	0,75	1,20	0,50
Φ16	0,67	1,00	1,75	0,78	1,12
Φ17	1,62	1,25	1,30	0,60	1,10

Συγκρίνοντας το πρώτο θέμα με το τελευταίο, παρατηρούμε ότι υπήρξε βελτίωση σε 12/17 φοιτητές, ενώ οι υπόλοιποι 5/17 παρουσίασαν οπισθοχώρηση. Όμως, παρατηρούμε ότι συνολικά (συγκρίνοντας την απόδοση των φοιτητών σε όλα τα θέματα), υπάρχουν αρκετές αυξομειώσεις από το ένα θέμα στο άλλο. Επιπλέον, παρατηρούμε τη μεγαλύτερη απόδοση στο θέμα 2 καθώς και στο 5, έπειτα στα θέματα 1 και 3 και τέλος στο θέμα 4. Παρατηρούμε δύο

ισοψηφίες ως προς τη μεγαλύτερη απόδοση, την πρώτη από τη φοιτήτρια Φ10 στα θέματα 2, 3 και 5 και τη δεύτερη από τη φοιτήτρια Φ11 στα θέματα 3 και 5. Η φοιτήτρια Φ2 παρουσίασε μια συνεχή βελτίωση μέχρι το θέμα 4. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν ότι -στη συγκεκριμένη παρέμβαση- η ατομική επιχειρηματολογία ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο εξαρτάται κυρίως από το πρόβλημα και εν μέρει από την εξάσκηση των φοιτητών/τριών, όπως ακριβώς και με την ατομική επιχειρηματολογία ως προς τις εδραιώσεις.

Σύγκριση μέσων επιπέδων επιχειρηματολογίας ως προς τη δομή και ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο ανά θέμα

Παρακάτω παραθέτουμε την κατηγοριοποίηση των μέσων επιπέδων ως προς τη δομή της επιχειρηματολογίας και ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο:

A) Ως προς τη δομή της επιχειρηματολογίας:

- i) Χαμηλό μέσο επίπεδο: Από την τιμή 0 του μέσου επιπέδου μέχρι την τιμή 1.
- ii) Μεσαίο μέσο επίπεδο: Από την τιμή 1 (όχι η 1) του μέσου επιπέδου μέχρι την τιμή 2
- iii) Υψηλό μέσο επίπεδο: Από την τιμή 2 (όχι η 2) του μέσου επιπέδου μέχρι την τιμή 3.

B) Ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο:

- i) Χαμηλό μέσο επίπεδο: Από την τιμή 0 του μέσου επιπέδου μέχρι την τιμή 0,67.
- ii) Μεσαίο μέσο επίπεδο: Από την τιμή 0,67 (όχι η 0,67) του μέσου επιπέδου μέχρι την τιμή 1,34.
- iii) Υψηλό μέσο επίπεδο: Από την τιμή 1,34 (όχι η 1,34) του μέσου επιπέδου μέχρι την τιμή 2.

Πιο αναλυτικά έχουμε:

Θέμα 1: Παρατηρούμε συνέπεια μεταξύ μέσου επιπέδου δομής της επιχειρηματολογίας και εννοιολογικού περιεχομένου στους 8 από τους 17 φοιτητές.

Θέμα 2: Παρατηρούμε συνέπεια μεταξύ μέσου επιπέδου δομής της επιχειρηματολογίας και εννοιολογικού περιεχομένου στους 8 από τους 17 φοιτητές.

Θέμα 3: Παρατηρούμε συνέπεια μεταξύ μέσου επιπέδου δομής της επιχειρηματολογίας και εννοιολογικού περιεχομένου στους 7 από τους 17 φοιτητές.

Θέμα 4: Παρατηρούμε συνέπεια μεταξύ μέσου επιπέδου δομής της επιχειρηματολογίας και εννοιολογικού περιεχομένου στους 7 από τους 17 φοιτητές.

Θέμα 5: Στο πέμπτο θέμα παρατηρούμε συνέπεια μεταξύ μέσου επιπέδου δομής της επιχειρηματολογίας και εννοιολογικού περιεχομένου στους 7 από τους 17 φοιτητές.

Συνολικά, παρατηρούμε πως το ποσοστό συνέπειας μεταξύ δομής της επιχειρηματολογίας και επιστημονικού περιεχομένου κυμαίνεται από 41% έως 47%.

Αποτελέσματα της συμφωνίας των δύο κριτών ως προς την αξιολόγηση των pre-και post – test

Τα αποτελέσματα του τεστ k του Cohen ήταν τα εξής (πίνακας 7):

Πίνακας 7: Αποτελέσματα του τεστ k του Cohen ήταν τα εξής:

Δομικά στοιχεία	Ισχυρισμός	Δεδομένα	Αιτιολόγηση	Αντίκρουση
Cohen’s kappa (k)	0,828	0,768	0,737	0,747

Παρατηρούμε ότι οι δύο κριτές συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό ως προς την αξιολόγηση και των τεσσάρων δομικών στοιχείων των γραπτών επιχειρημάτων των φοιτητών, πριν και μετά την παρέμβαση.

Αποτελέσματα του Wilcoxon test για τον έλεγχο της ύπαρξης ή μη στατιστικά σημαντικής διαφοράς μεταξύ των επιπέδων του pre- και του post – test:

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας (πίνακας 8) με τα αποτελέσματα του μη παραμετρικού τεστ Wilcoxon:

Πίνακας 8: Αποτελέσματα του μη παραμετρικού τεστ Wilcoxon

Πρόβλημα και αντίστοιχα δομικά στοιχεία	Asymp. Sig. (2-tailed) (p)	Mean (Pre – Test)	Mean (Post – Test)
Πρόβλημα 1 – Ισχυρισμός	0,003	0,71	1,76
Πρόβλημα 1 – Δεδομένα	0,001	0,53	1,71
Πρόβλημα 1 – Αιτιολόγηση	0,001	0,47	1,41
Πρόβλημα 1 – Αντίκρουση	0,000	0,29	1,41
Πρόβλημα 2 – Ισχυρισμός	0,132	1,53	1,24
Πρόβλημα 2 – Δεδομένα	0,564	1,18	1,29
Πρόβλημα 2 – Αιτιολόγηση	0,655	1,12	1,18
Πρόβλημα 2 – Αντίκρουση	0,454	0,76	0,94
Πρόβλημα 3 – Ισχυρισμός	0,059	1,59	2,00
Πρόβλημα 3 – Δεδομένα	0,014	0,76	1,29
Πρόβλημα 3 – Αιτιολόγηση	0,026	0,88	1,47

Πρόβλημα 3 – Αντίκρουση	0,035	0,53	0,94
Πρόβλημα 4 – Ισχυρισμός	0,001	1,06	1,82
Πρόβλημα 4 – Δεδομένα	0,000	0,53	1,82
Πρόβλημα 4 – Αιτιολόγηση	0,003	0,29	1,24
Πρόβλημα 4 – Αντίκρουση	0,002	0,24	1,29
Πρόβλημα 5 – Ισχυρισμός	0,317	1,94	1,82
Πρόβλημα 5 – Δεδομένα	0,130	1,24	1,59
Πρόβλημα 5 – Αιτιολόγηση	0,112	1,24	1,65
Πρόβλημα 5 – Αντίκρουση	0,627	1,12	1,24

Παρατηρούμε στατιστικά σημαντική βελτίωση σε τρία από τα πέντε προβλήματα (60%). Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στα προβλήματα 2 και 5. Παρ' όλα αυτά στο πρόβλημα 2, παρατηρούμε μια σχετική ισορροπία μεταξύ των pre- και post-tests, ενώ στο πρόβλημα 5, παρά το γεγονός ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά, παρατηρούμε μια βελτίωση στα δεδομένα και την αιτιολόγηση μεταξύ των pre- και post-tests.

Παρακάτω παραθέτουμε τα επιχειρήματα της φοιτήτριας Φ13 στο πρόβλημα 1 (τριβή) και συγκεκριμένα από το pre-test, το πρόβλημα παρέμβασης και το post-test, έτσι ώστε να δείξουμε την εξέλιξη της ποιότητας των επιχειρημάτων των φοιτητών:

Σχήμα 2: Θέμα 1 pre-test



Το συγκεκριμένο πρόβλημα αναφέρεται σε δύο παιδιά που καλούνται να σπρώξουν ένα κουτί σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου. Το ένα παιδί προτείνει να το σπρώξουν με το μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας να ακουμπά στο έδαφος και το δεύτερο με το μικρότερο

(Σχήμα 2). Οι φοιτητές πρέπει να γράψουν το επιχειρήμα τους σχετικά με το αν συμφωνούν με κάποια από τις δύο προτάσεις ή όχι και να προβάλλουν τις αντικρούσεις τους.

Απάντηση φοιτήτριας Φ13

«Σύμφωνα με τα όσα έχω μάθει στην φυσική για την κίνηση και δύναμη, ειδικότερα όμως για την τριβή το μέγεθος της αντίστασης έχει να κάνει με το υλικό της επιφάνειας, με την δύναμη που ασκείται στην επιφάνεια και με το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Επομένως πιστεύω ότι όταν το βάλουμε με την μικρότερη επιφάνεια θα έχουμε και την μικρότερη αντίσταση -τριβή αντίστοιχα. Συμφωνώ λοιπόν με την άποψη του Νίκου.

Διαφωνώ λοιπόν με τις άλλες απόψεις διότι με βάση αυτά που ξέρουμε για την τριβή θα έχουμε μικρότερη αντίσταση όταν στην επιφάνεια ακουμπάει η μικρότερη σε εμβαδόν επιφάνεια του σώματος. Για παράδειγμα όπως τα παγοπέδιλα για το πατινάζ».

Αξιολόγηση Επιχειρήματος

Ισχυρισμός: *Επομένως - Νίκου.*

Ο **ισχυρισμός** είναι **επιτέδου ο**, καθώς είναι ακατάλληλος ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Δεδομένα: Έμμεσα δηλώνεται η μικρότερη επιφάνεια που θα έχει το κουτί που θα δεχτεί τη μικρότερη τριβή.

Τα **δεδομένα** είναι **επιτέδου ο**, καθώς υποστηρίζουν τον ακατάλληλο ισχυρισμό.

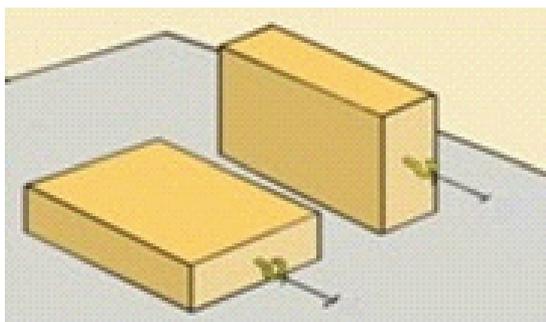
Συλλογισμός: *Σύμφωνα - αυτής.*

Ο **συλλογισμός** είναι **επιτέδου ο**, καθώς είναι ακατάλληλη/ος ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Αντίκρουση: *Διαφωνώ - πατινάζ.*

Η **αντίκρουση** είναι **επιτέδου ο**, καθώς είναι ακατάλληλη ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Σχήμα 3: Θέμα 1 παρέμβασης



Ίδιας λογικής με το pre-test, μόνο που οι φοιτητές καλούνται να επιχειρηματολογήσουν ως προς τη σύγκριση της τριβής ολίσθησης στις δύο περιπτώσεις (μικρότερο και μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας επαφής) (Σχήμα 3).

Απάντηση φοιτήτριας Φ13

«Θεωρώ ότι μεγαλύτερη τριβή ολίσθησης θα έχει το πρώτο κουτί το οποίο ακουμπάει με τη μεγαλύτερη πλευρά πάνω στον πάγκο και αυτό γιατί είναι μεγαλύτερη η επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το μη λείο πάγκο και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη αντίσταση, δηλαδή τριβή ολίσθησης και είναι πιο δύσκολο επομένως το κουτί να κινηθεί από ότι όταν θα ακουμπά τον πάγκο με τη μικρότερή του επιφάνεια και αυτό γιατί όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του σώματος που έρχεται σε επαφή με μια μη λεία επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η αντίσταση που θα έχει αυτό».

Αξιολόγηση Επιχειρήματος

Ισχυρισμός: Θεωρώ - πάγκο.

Ο **ισχυρισμός** είναι **επιπέδου 0** ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Δεδομένα: είναι μεγαλύτερη η επιφάνεια - μη λείο πάγκο

Τα **δεδομένα** είναι **επιπέδου 0** ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο, καθώς υποστηρίζουν τον ακατάλληλο ισχυρισμό.

Αιτιολόγηση: γιατί είναι μεγαλύτερη η επιφάνεια που έρχεται σε επαφή - και η αντίσταση που θα έχει αυτό.

Η **αιτιολόγηση** είναι **επιπέδου 0** ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Γενικό σχόλιο: Παρατηρούμε πως το παραπάνω επιχείρημα είναι μεν **επιπέδου 3** ως προς τις εδραιώσεις, καθώς έχει δεδομένα και αιτιολόγηση, αλλά είναι **επιπέδου 0** ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο.

Σχήμα 4: Θέμα 1 post-test



Το συγκεκριμένο πρόβλημα αναφέρεται σε ένα παιδί που σπρώχνει δύο τραπέζια από το ίδιο υλικό το ένα με 4 πόδια ενώ το δεύτερο με 6, του οποίου όμως η μάζα είναι κατανεμημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ίση με τη μάζα του τραπέζιού με τα 4 πόδια. Δύο φίλοι του διαφωνούν σχετικά με το αν είναι πιο εύκολο να σπρώξει το τραπέζι Α ή το τραπέζι Β (Σχήμα 4). Οι φοιτητές πρέπει να γράψουν το επιχειρήμα τους σχετικά με το αν συμφωνούν με κάποια από τις δύο προτάσεις ή όχι και να προβάλλουν τις αντικρούσεις τους.

Απάντηση φοιτήτριας Φ13

«Δεν συμφωνώ με κανέναν από τους δύο, καθώς και στα δύο τραπέζια θα ασκηθεί ίση αντίσταση και προφανώς θα είναι το ίδιο δύσκολο για τον Αντώνη να κινήσει τα δύο αυτά τραπέζια. Εφόσον έχουν ίδια μάζα και τα τραπέζια είναι από το ίδιο υλικό, καθώς και θα τα σύρουμε πάνω στο ίδιο μη λείο υλικό, θα τους ασκηθεί ακριβώς η ίδια αντίσταση. Αυτό γιατί όπως γνωρίζουμε κιάλας από τον τύπο της τριβής ολίσθησης $T = \mu N$, όπου T η τριβή, μ ο συντελεστής τριβής και N η δύναμη που θα ασκεί το δάπεδο στο τραπέζι και είναι ίση με το w του τραπέζιού. Επομένως η τριβή επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες, από το υλικό της επιφάνειας που θα σύρουμε το αντικείμενο και το βάρος του σώματος.

Αντίκρουση:

Εφόσον τα σώματα είναι από το ίδιο υλικό, έχουν την ίδια μάζα και θα τα σύρουμε πάνω στο ίδιο μη λείο υλικό, τότε η αντίσταση που θα ασκηθεί και στα δύο τραπέζια θα είναι ίση. Με βάση τον τύπο $T = \mu N$ η τριβή εξαρτάται (μάλλον η τιμή της τριβής) μόνο από δύο παράγοντες, το μ όπου είναι ο συντελεστής σχετικά με το υλικό της επιφάνειας, και το βάρος του σώματος, καθώς $w = N$ ».

Αξιολόγηση Επιχειρήματος

Ισχυρισμός: Δεν συμφωνώ...- τραπέζια - θα τους ασκηθεί ακριβώς η ίδια αντίσταση.

Ο ισχυρισμός είναι **επιπέδου 2** (επαρκής και κατάλληλος).

Δεδομένα: Εφόσον έχουν ίδια μάζα και τα τραπέζια είναι από το ίδιο υλικό, καθώς και θα τα σύρουμε πάνω στο ίδιο μη λείο υλικό.

Τα δεδομένα είναι **επιπέδου 2** (επαρκή και υποστηρίζουν τον κατάλληλο ισχυρισμό).

Συλλογισμός: Αυτό - σώματος.

Ο συλλογισμός είναι **επιπέδου 2** (επαρκής και κατάλληλος).

Αντίκρουση: Εφόσον - $w = N$.

Η αντίκρουση είναι **επιπέδου 2** (επαρκής και κατάλληλη).

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Αρχικά, ξεκινώντας με τα αποτελέσματα της ομαδικής επιχειρηματολογίας, η ομάδα Α που παρουσίασε τη συνεχή βελτίωση από το ένα θέμα στο άλλο απαρτιζόταν από τέσσερις φοιτήτριες, από τις οποίες οι δύο (Φ1 και Φ2) είχαν ακολουθήσει την κατεύθυνση των οικονομικών στη Γ' Λυκείου και τη θετική κατεύθυνση στη Β' Λυκείου, ενώ το επιστημονικό υπόβαθρο των υπολοίπων (Φ3 και Φ4) ήταν αυτό των θεωρητικών επιστημών (θεωρητική κατεύθυνση). Ο συνδυασμός αυτών των δύο επιστημονικών πεδίων βοηθάει σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη ποιοτικών αντικρούσεων τόσο ως προς τη δομή και την ελάρκεια, όσο και ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο. Συγκεκριμένα, οι φοιτήτριες Φ1 και Φ2 οι οποίες ανήκαν στην θετική κατεύθυνση στη Β' Λυκείου, ανέπτυξαν σε μεγάλο βαθμό αντικρούσεις τόσο σε ισχυρισμούς, όσο και σε εδραιώσεις που ήταν ακατάλληλοι/ες ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο και άρα είχαν σκοπό να κατευθύνουν ως προς τη σωστή επιστημονική γνώση. Όσον αφορά στις φοιτήτριες Φ3 και Φ4 που ήταν θεωρητικής κατεύθυνσης συνετέλεσε το γεγονός ότι στην κατεύθυνσή τους διδάσκονται αρχαίους ρητορικούς λόγους ήδη από τη Β' Λυκείου και μελετούν τα δομικά στοιχεία ενός επιχειρήματος. Παρ' όλα αυτά, την ίδια σύνθεση είχε και η ομάδα Γ, καθώς απαρτιζόταν από δύο φοιτήτριες οι οποίες είχαν ακολουθήσει την θετική κατεύθυνση, και από δύο φοιτητές/τριες θεωρητικής κατεύθυνσης. Η ομάδα Γ, όσον αφορά στην εξέλιξη της ως προς την ομαδική επιχειρηματολογία είχε συνεχείς αυξομειώσεις από το ένα πρόβλημα στο άλλο. Επομένως, αν και ο συνδυασμός των δύο κατευθύνσεων μπορεί να συμβάλει σε κάποιο βαθμό σε μία ποιοτική ομαδική επιχειρηματολογία, στην παρούσα έρευνα δεν αποτέλεσε το βασικό κριτήριο της συνεχούς βελτίωσης της ομάδας Α. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το κριτήριο που ενδεχομένως βοήθησε στο παραπάνω αποτέλεσμα ήταν το γεγονός ότι στην ομάδα Α και οι τέσσερις φοιτήτριες είχαν περάσει στις εξετάσεις το μάθημα της φυσικής, ενώ στις υπόλοιπες τρεις ομάδες υπήρχε έστω ένα μέλος που δεν είχε περάσει το μάθημα. Μάλιστα, η φοιτήτρια Φ1 της ομάδας Α είχε περάσει τη φυσική με βαθμό 9 και ήταν αυτή που ανέπτυξε τις περισσότερες αντικρούσεις. Το στοιχείο αυτό εξασφάλισε στην ομάδα αυτή την κατανόηση και ορθή χρήση των αντικρούσεων, και, συνεπώς, ένα υψηλό επίπεδο ομαδικής επιχειρηματολογίας και άρα πιθανώς να διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και στη βελτίωση των δεξιοτήτων ομαδικής επιχειρηματολογίας της συγκεκριμένης ομάδας, τουλάχιστον ως προς τη δομή.

Οι υπόλοιπες τρεις ομάδες (Β, Γ και Δ) παρουσίασαν αυξομειώσεις στα επίπεδα ομαδικής επιχειρηματολογίας. Ο βασικότερος λόγος των συγκεκριμένων αυξομειώσεων είναι οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι φοιτητές στο να εκφράσουν πλήρως δομημένα επιχειρήματα αναφορικά με συγκεκριμένα θέματα, γεγονός που σε έναν βαθμό επηρέασε τις αντικρούσεις, τόσο ως προς την ποσότητα, όσο και ως προς την ποιότητα αυτών. Παρ' όλα αυτά, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των ομάδων αυτών με την ομάδα Α ανά θέμα, δεν παρατηρούμε μεγάλες διαφορές ως προς τους μέσους όρους. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη μιας επιχειρηματολογίας υψηλού επιπέδου διαδραματίζουν οι αντικρούσεις και συγκεκριμένα η ποσότητα, αλλά κυρίως η ποιότητα αυτών, δηλαδή με βάση και τους Clark και Sampson

(2008), πιο ποιοτικές αντικρούσεις θεωρούνται αυτές που γίνονται στις εδραιώσεις ενός εναλλακτικού επιχειρήματος και λιγότερο ποιοτικές αυτές που γίνονται στον ισχυρισμό. Γενικότερα, τα επίπεδα που χαρακτηρίζουν την ομαδική επιχειρηματολογία ως ποιοτική είναι όσα περιλαμβάνουν αντικρούσεις, δηλαδή τα επίπεδα 3, 4 και 5. Σύμφωνα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, παρατηρούμε πως, αν εξαιρέσουμε τις ομάδες Α, Γ και Δ στο πρώτο θέμα της παρέμβασης (τριβή), οι οποίες είχαν μέσο επίπεδο ομαδικής επιχειρηματολογίας χαμηλότερο από 3, αποτέλεσμα που μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενο μιας και τότε ξεκίνησαν οι φοιτητές να επιχειρηματολογούν, στα υπόλοιπα προβλήματα το μέσο επίπεδο ομαδικής επιχειρηματολογίας και των τεσσάρων ομάδων είναι από 3 και πάνω. Επομένως, στα τέσσερα από τα πέντε θέματα (θέμα 2 - τριβή, θέμα 3 - ελεύθερη πτώση, θέμα 4 - κατακόρυφη βολή προς τα πάνω και θέμα 5 - δράση αντίδραση) και οι τέσσερις ομάδες ανέπτυξαν κατά την επιχειρηματολογία τους, αρκετές και ποιοτικές αντικρούσεις. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως η ομαδική επιχειρηματολογία των φοιτητών ήταν σε γενικές γραμμές ποιοτική. Φαίνεται ότι, όπως αποδεικνύουν και άλλες έρευνες (von Aufschnaiter et al., 2008· Sampson & Clark, 2008), η συνεργασία αποτελεί βασικό παράγοντα στην ανάπτυξη μιας ποιοτικής ομαδικής επιχειρηματολογίας με κύριο συστατικό τις αντικρούσεις που συμβάλλουν σε έναν σημαντικό βαθμό στη βελτίωση της γνώσης του επιστημονικού περιεχομένου.

Ως προς τα αποτελέσματα της ατομικής επιχειρηματολογίας, είναι σημαντικό να γίνει μια αναφορά στο αν και σε ποιο βαθμό τα αποτελέσματα ως προς τη δομή επηρέασαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο και το αντίστροφο. Σχετικά με τη συνέπεια δομής και επιστημονικού περιεχομένου, παρατηρούμε πως σε όλα τα θέματα της Νευτώνειας Μηχανικής που κλήθηκαν να επιχειρηματολογήσουν οι φοιτητές, έστω και οριακά, δεν παρατηρείται συνέπεια. Συγκεκριμένα, το ποσοστό συνέπειας κυμαίνεται από 41% έως 47%. Τα αποτελέσματα αυτά δηλώνουν πως η συνέπεια των αποτελεσμάτων της ατομικής επιχειρηματολογίας ως προς τη δομή και ως προς το περιεχόμενο ποικίλει ανάλογα με το θέμα που δόθηκε στους φοιτητές με σκοπό να επιχειρηματολογήσουν. Επιπλέον, παρατηρώντας τα αποτελέσματα που αφορούν στην ασυνέπεια δομής και επιστημονικού περιεχομένου, ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις όπου υψηλό επίπεδο ως προς τη δομή της επιχειρηματολογίας συνδυάζεται με χαμηλό επίπεδο ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο. Αυτό σημαίνει πως δεν υπάρχει μεγάλο χάσμα ανάμεσα στα επίπεδα της δομής και αυτά του επιστημονικού περιεχομένου. Κατά συνέπεια, όσοι φοιτητές δεν είχαν προηγούμενη γνώση του περιεχομένου ή εξέφρασαν αρκετές εναλλακτικές ιδέες, δυσκολεύτηκαν σε σχετικά μεγάλο βαθμό να αναπτύξουν άρτια και υψηλού επιπέδου επιχειρηματολογία ως προς τη δομή. Παρόλο που στις παρεμβάσεις του ερευνητή γινόταν συνεχής αναφορά στα δομικά στοιχεία του επιχειρήματος, καθώς και στο πώς οι φοιτητές θα πρέπει να κατασκευάζουν σωστά ως προς τη δομή επιχειρήματα, η έλλειψη προηγούμενης γνώσης του επιστημονικού περιεχομένου των συγκεκριμένων προβλημάτων της Νευτώνειας Μηχανικής αποτέλεσε σε ορισμένους φοιτητές τροχοπέδη για τη δημιουργία υψηλού επιπέδου δομής της επιχειρηματολογίας. Επομένως, όπως υποστηρίζουν και οι Liu, et al. (2019), η προηγούμενη γνώση

του επιστημονικού περιεχομένου είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη μιας επιχειρηματολογίας υψηλού επιπέδου ως προς τη δομή και ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο.

Ως προς τη δομή της επιχειρηματολογίας (εδραιώσεις), η πλειοψηφία των φοιτητών παρουσίασε βελτιωμένα αποτελέσματα μεταξύ του πρώτου θέματος και του τελευταίου. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε βαθμιαία εξέλιξη από το ένα θέμα στο άλλο, καθώς ενδιάμεσα υπήρχαν αρκετές αυξομειώσεις οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι με κάποια θέματα φαίνεται ότι ήταν εξοικειωμένοι, καθώς φαίνεται ότι τα είχαν αντιμετωπίσει στο σχολείο ή στο Πανεπιστήμιο και έτσι μπορούσαν να επιχειρηματολογήσουν με σχετική ευχέρεια σε αντίθεση με κάποια άλλα θέματα με τα οποία δεν ήταν το ίδιο εξοικειωμένοι, όπως για παράδειγμα το θέμα 4 (2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα: κατακόρυφη βολή προς τα πάνω). Σε αυτά τα θέματα οι φοιτητές δυσκολεύτηκαν να αναπτύξουν σωστά και πλήρως τα επιχειρήματά τους με αποτέλεσμα να διατυπώνουν κάποιες φορές έναν μόνο ισχυρισμό χωρίς να τον αιτιολογούν. Η έλλειψη επαρκούς γνώσης του περιεχομένου και οι εναλλακτικές ιδέες που είχαν οι φοιτητές σε συγκεκριμένα προβλήματα εμπόδιζε στο να αναπτύξουν επιχειρηματολογία τέτοια που ως προς τη δομή της να πληροί τα κριτήρια που την καθιστούν άρτια.

Ως προς το εννοιολογικό περιεχόμενο, και εδώ παρατηρούμε πως οι περισσότεροι φοιτητές παρουσίασαν βελτιωμένο μέσο επίπεδο ατομικής επιχειρηματολογίας μεταξύ του πρώτου θέματος και του τελευταίου. Επιπλέον, σημειώθηκαν και σε αυτήν την κατηγορία ενδιάμεσες αυξομειώσεις, ένα ενδεχομένως αναμενόμενο αποτέλεσμα, μιας και σε κάποια θέματα εκφράστηκαν λιγότερες εναλλακτικές ιδέες και σε μικρότερο κομμάτι της επιχειρηματολογίας των φοιτητών ενώ σε κάποια άλλα περισσότερες και σε μεγάλο μέρος της συζήτησής τους. Συγκεκριμένα, στο θέμα 2 (1^{ος} Νόμος Νεύτωνα) καθώς και στο θέμα 5 (3^{ος} Νόμος του Νεύτωνα) παρατηρούνται οι υψηλότεροι μέσοι όροι, μιας και οι περισσότεροι φοιτητές υποστήριξαν την επιστημονική άποψη και άρα εκφράστηκαν ελάχιστες εναλλακτικές ιδέες. Αντίθετα, στο θέμα 4 (2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα: κατακόρυφη βολή προς τα πάνω) παρουσιάστηκαν οι περισσότερες οπισθοχωρήσεις συγκριτικά με το προηγούμενο θέμα. Το πρόβλημα αφορούσε στην κατακόρυφη βολή ενός σώματος (μπαλάκι) προς τα πάνω και οι φοιτητές κλήθηκαν να επιχειρηματολογήσουν ως προς το ποιες δυνάμεις ασκούνται στο μπαλάκι σε τρία στιγμιότυπα: α) άνοδος, β) ανώτατο σημείο της τροχιάς και γ) κάθοδος. Οι περισσότεροι φοιτητές, με ελάχιστες εξαιρέσεις, εξέφρασαν καθ' όλη τη διάρκεια της συζήτησης τις γνωστές από τη βιβλιογραφία εναλλακτικές ιδέες που επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα.

Τέλος, σχετικά με τα αποτελέσματα των γραπτών επιχειρημάτων, αρχικά, ο λόγος που δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στα προβλήματα 2 και 5 μεταξύ των αποτελεσμάτων των pre- και post-tests, ήταν η ύπαρξη περισσότερων εναλλακτικών αντιλήψεων των φοιτητών/τριών, οι οποίες προέκυψαν μέσα από τα επιχειρήματά τους στο post-test. Όπως φαίνεται σε προβλήματα όπου υπάρχουν ισχυρές εναλλακτικές ιδέες, οι παρεμβάσεις του ερευνητή επί του επιστημονικού περιεχομένου δεν κρίθηκαν αρκετές για να τις αναδομήσουν. Αντίθετα, στα υπόλοιπα προβλήματα (1 – τριβή, 3 – ελεύθερη πτώση

και 4 – κατακόρυφη βολή προς τα πάνω), με βάση και τα αποτελέσματα των post-tests, οι παρεμβάσεις του ερευνητή συνέβαλαν στην εξέλιξη της επιχειρηματολογίας των φοιτητών/τριών, τόσο ως προς τη δομή όσο και ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο. Ειδικότερα, στο πρόβλημα 4, ενώ στην προφορική ατομική επιχειρηματολογία παρουσιάστηκαν αρκετές αυξομειώσεις στα μέσα επίπεδα ως προς τη δομή και το εννοιολογικό περιεχόμενο, στα αποτελέσματα των post-tests παρατηρούμε στατιστικά σημαντικές βελτιώσεις σε σύγκριση με αυτά των pre-tests και στα τέσσερα δομικά στοιχεία του επιχειρήματος.

Ανακεφαλαιώνοντας, όσον αφορά στο επιστημονικό περιεχόμενο και συγκεκριμένα κατά πόσο συνέβαλε η επιχειρηματολογία στην εννοιολογική αλλαγή των φοιτητών/τριών του Π.Τ.Δ.Ε, σε γενικές γραμμές, όπως υποστηρίζουν και παρόμοιες έρευνες που αφορούσαν στην επιχειρηματολογία σε προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής, αλλά και γενικά σε προβλήματα φυσικής (Eskin & Bekiroglu, 2013· Hakyolu & Ogan-Bekiroglu, 2016· Uzuntiryaki-Kondakci et al., 2021), η επιχειρηματολογία βοήθησε τους φοιτητές να βελτιώσουν ως έναν βαθμό την γνώση τους ως προς το επιστημονικό περιεχόμενο. Παρ' όλα αυτά, υπήρξαν εναλλακτικές ιδέες που αντιμετώπισαν σε συγκεκριμένα θέματα οι φοιτητές, όπου η επίδραση της επιχειρηματολογίας δεν ήταν αρκετή ώστε να ξεπεραστούν με το πέρας της παρέμβασης. Αντίθετα φαίνεται ότι η καλή γνώση του περιεχομένου βοηθά στην ανάπτυξη της επιχειρηματολογίας.

Εν κατακλείδι, η συνεχής εμπλοκή των φοιτητών στην ομαδική επιχειρηματολογία, συμβάλλει στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων επιχειρηματολογίας τους, καθώς και στη βελτίωση του εννοιολογικού τους επιπέδου στις περισσότερες εφαρμογές των Νόμων του Νεύτωνα. Όπως επισημαίνουν οι Shemwell και Furtak (2010), ακόμη και μετά από συνεχή εξάσκηση με την επιχειρηματολογία, οι περισσότεροι φοιτητές δυσκολεύονται ιδιαίτερα να ξεπεράσουν πλήρως τις εναλλακτικές αντιλήψεις τους για ορισμένα προβλήματα Νευτώνειας Μηχανικής. Ωστόσο, η παρούσα έρευνα αποκαλύπτει ότι η έκφραση διαφορετικών απόψεων για αυτά τα προβλήματα βοηθά τους φοιτητές να αναπτύξουν αντικρούσεις και, επομένως, να βελτιώσουν την ποιότητα των επιχειρημάτων τους, ως προς τη δομή και το επιστημονικό περιεχόμενο.

Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις για την εξέλιξή της

Ένας περιορισμός αυτής της έρευνας ήταν το γεγονός ότι διεξήχθη μέσω Skype λόγω της πανδημίας Covid-19. Ένας πρακτικός λόγος που καθιστά περιορισμό τη διεξαγωγή της εξ' αποστάσεως έρευνας είναι τα τεχνικά προβλήματα που στη συγκεκριμένη έρευνα δεν ήταν σημαντικά. Παρ' όλα αυτά, ορισμένες φορές, δεν βοηθούν στην ομαλή εξέλιξη της διαδικασίας, καθώς μπορεί να διακοπεί η ροή της συζήτησης που είναι βασικός παράγοντας στην επιχειρηματολογία. Επιπλέον, με την εξ' αποστάσεως έρευνα χάνεται το στοιχείο της άμεσης επικοινωνίας τόσο ανάμεσα στον ερευνητή και τους φοιτητές που συμμετείχαν στην έρευνα, όσο και ανάμεσα στους ίδιους τους συμμετέχοντες, γεγονός που μειώνει σε σημαντικό βαθμό τη δυνατότητα ενθάρρυνσης κυρίως σε όσους δεν έπαιρναν πολλές φορές το

λόγο ή δυσκολεύονταν να εκφράσουν την άποψή τους και να αναπτύξουν την επιχειρηματολογία τους. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, κατά κύριο λόγο η έρευνα ήταν ποιοτική και, επομένως, ως προς το μέγεθος του δείγματος, θα πρέπει να μην είναι μεγάλος ο αριθμός των συμμετεχόντων, όπως και συνέβη στη συγκεκριμένη έρευνα. Παρ' όλα αυτά, ο συγκεκριμένος αριθμός των φοιτητών που έλαβαν μέρος στην έρευνα, περιορίζει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που έχουν εξαχθεί. Ως εκ τούτου, συνιστάται η πραγματοποίηση της συγκεκριμένης έρευνας διά ζώσης, ώστε να διαπιστωθεί εάν θα υπάρξει διαφοροποίηση ως προς τα αποτελέσματα. Επίσης, προτείνεται η επέκταση της παρούσας έρευνας σε ένα μεγαλύτερο και πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα. Επιπλέον, η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να επαναληφθεί με μεγαλύτερο χρόνο παρέμβασης από τον ερευνητή, ώστε να επιχειρηθεί – παράλληλα με την ανάπτυξη της επιχειρηματολογίας – και η άνετη (από πλευράς χρόνου) αναδόμηση των ιδεών των φοιτητών. Τέλος η συγκεκριμένη έρευνα θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και σε άλλους τομείς της φυσικής που δεν εμφανίζουν ισχυρές εναλλακτικές ιδέες, καθώς και σε φοιτητές του τμήματος φυσικής.

Βιβλιογραφία

- Μαστρογιωργάκη, Μ. & Σκουμιός Μ. (2019). Διδάσκοντας το 2ο Νόμο του Νεύτωνα μέσω πρακτικών των Φυσικών Επιστημών: η δομή και το περιεχόμενο των επιχειρημάτων των μαθητών. *Πρακτικά 11^ο Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΝΕΦΕΤ “Επαναπροσδιορίζοντας τη Διδασκαλία και Μάθηση των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας στον 21ο αι.”*,σελ. 266-275.ISBN: 978-618-83267-7-4.
- Σκουμιός, Μ., & Χατζηνικήτα, Β. (2014). Αξιολογώντας τις γραπτές εξηγήσεις των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, 3, 9-19.ISSN: 2241-7680
- Τζικούλη, Α., & Σκουμιός, Μ. (2016). Η συμβολή ενός εκπαιδευτικού υλικού στη δομή των γραπτών επιχειρημάτων των μαθητών για τα ηλεκτρικά κυκλώματα. *Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες: “Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες: μοναχικές πορείες ή αλληλεπιδράσεις;”*, σελ. 557-566.ISBN: 978-960-86791-6-0
- Admoko, S., Hanifah, N., Suprpto, N., Hariyono, E., & Madlazim, M. (2021). The implementation of Argument Driven Inquiry (ADI) learning model to improve scientific argumentation skills of high school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7.
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1747/1/012046>
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti P. (2010). A Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1289-1313. <https://doi.org/10.1080/09500690903023350>

- Cebrian-Robles, D., Mariscal, A. J. F., & Lopez, A.B. (2018). Preservice elementary science teachers' argumentation competence: impact of a training programme. *Instructional Science*, 46(5), 789-817. <https://doi.org/10.1007/s11251-018-9446-4>
- Clark, D., & Sampson, V. (2008). Assessing dialogic argumentation in online environments to relate structure, grounds, and conceptual quality. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 293-321. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20216>
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3%3C287::AID-SCE1%3E3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3%3C287::AID-SCE1%3E3.0.CO;2-A)
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/11625>
- Erduran, S., & Jimenez-Aleixandre, M. (2007). *Research in argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*, 285. Dordrecht: Springer. ISBN: 978-1-4020-6669-6.
- Erduran, S., Ozdem Y., & Park, J. Y. (2015). Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998–2014. *International Journal of STEM Education*, 2(5), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1186/s40594-015-0020-1>
- Eskin, H., & Ogan-Bekiroglu, F. (2013). Argumentation as a strategy for conceptual learning of dynamics. *Research in Science Education*, 43(5), 1939-1956. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9339-5>
- Evagorou, M., & Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209-237. <https://doi.org/10.1002/tea.21076>
- Georgiou, M., Mavrikaki, E., Halkia, K., & Papassideri, I. (2020). Investigating the Impact of the Duration of Engagement in Socioscientific Issues in Developing Greek Students' Argumentation and Informal Reasoning Skills. *American Journal of Educational Research*, 8(1), 16-23. <http://pubs.sciepub.com/education/8/1/3>
- Hakyolu, H., & Ogan- Bekiroglou, F. (2016). Interplay between content knowledge and scientific argumentation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(12), 3005-3033. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.02319a>
- Henderson, B., McNeill, K. L., Gonzalez- Howard, M., Close, K., & Evans, M. (2018). Key Challenges and Future Directions for Educational Research on Scientific Argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 5-18. <https://doi.org/10.1002/tea.21412>
- Hestenes D., Wells M., & Swackhamer (1992). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30, 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Liu, Q.T., Liu, B.W., Lin, Y.R. (2019). The influence of prior knowledge and collaborative online learning environment on students' argumentation in descriptive and theoretical scientific concept. *International Journal of Education Research*, 41(2), 165-187. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1545100>

- Martins, M., & Macagno, F. (2022). An analytical instrument for coding and argumentative dialogues in science teaching contexts. *Science Education*, 106, 573-609.
<https://doi.org/10.1002/sce.21708>
- McNeill, K. L. & Krajcik, J. (2012). *Supporting grade 5–8 students in constructing explanations in science: The claim, evidence and reasoning framework for talk and writing*. Pearson Allyn & Bacon.
- Najami, N., Hugerat, M., Kabya F., & Hofstein, A. (2020). The Laboratory as a Vehicle for Enhancing Argumentation Among Pre-Service Science Teachers. *Science & Education*, 29, 377-393.
<https://doi.org/10.1007/s11191-020-00107-9>
- Osborne, J.F., Borko, H., Fishman, E., Zaccareli, F.G., Berson, E., Busch, K.C., Reigh, E., & Tseng, A. (2019). Impacts of a Practice-Based Professional Development Program on Elementary Teachers' Facilitation of and Student Engagement With Scientific Argumentation. *American Educational Research Journal*, 1-46. <https://doi.org/10.3102%2F0002831218812059>
- Osborne, J.F., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Pabuccu, A., & Erduran, S. (2017). Beyond rote learning in organic chemistry: the infusion and impact of argumentation in tertiary education. *International Journal of Science Education*, 39(9), 1154-1172. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1319988>
- Sá Ibraim, S. de Sá & Justi, R. (2016). Teachers' knowledge in argumentation: contributions from an explicit teaching in an initial teacher education programme. *International journal of science education*, 38(12), 1996-2025. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1221546>
- Sampson, V., & Blanchard, M. (2012). Science teachers and scientific argumentation: Trends in views and practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1122–1148.
<https://doi.org/10.1002/tea.21037>
- Sampson, V., & Clark, D. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92, 447-472. <https://doi.org/10.1002/sce.20276>
- Sampson, V., & Clark, D. (2009). The impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93(3), 448-484. <https://doi.org/10.1002/sce.20306>
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23-55.
https://doi.org/10.1207/s1532690xci2301_2
- Shemwell, J., & Furtak, E.M. (2010). Science Classroom Discussion as Scientific Argumentation: A Study of Conceptually Rich (and Poor) Student Talk. *Educational Assessment*, 15, 222-250.
<https://doi.org/10.1080/10627197.2010.530563>
- Skoumios, M. (2022). Developing Primary School Students' Abilities to Evaluate the Evidence of Written Scientific Arguments. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00352-0>
- Toulmin, S. (Ed.). (1958). *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: 0521066441 9780521066440 0521092302 9780521092302.

-
- van Eemeren, F. H., Grootendorst R., & A. F. Henkemans, S. (Eds.). (2002) *Argumentation: Analysis, Evaluation, Presentation*, Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ. ISBN: 0-8058-3952-6.
- von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne J., & Simon, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101-131. <https://doi.org/10.1002/tea.20213>