ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Δ.Π.Μ.Σ. ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ, ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Αντιλήψεις φοιτητών/τριών για τον ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης στις ΦΕ στην προσχολική και δημοτική εκπαίδευση

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΑΝΤΑΡΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

ΦΛΩΡΙΝΑ, 2023

Φύλλο Εξέτασης

1. Επόπτης:_____

Βαθμός: _____

Υπογραφή: Ημερομηνία:

2. Δεύτερος Βαθμολογητής:_____

Βαθμός: _____

Υπογραφή: Ημερομηνία:

3. Δεύτερος Βαθμολογητής:_____

Βαθμός: _____

Υπογραφή: Ημερομηνία:

Η συγγραφέας Αντάρα Παρασκευή βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στις εργασίες τρίτων, όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

Περιεχόμενα

Περίληψη 5

Abstract 6

Εισαγωγή 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{Ο}: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΟΛΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ 10

1.1 Προσέγγιση της έννοιας «μοντέλο» 10

1.1.1 Ορισμοί 10

1.1.2 Βασικά Χαρακτηριστικά των μοντέλων 16

1.2 Μοντελοποίηση 23

1.3 Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση στη σχολική επιστήμη 28

1.4 Κατηγοριοποιήσεις των μοντέλων 30

1.5 Αντιλήψεις για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση 32

1.6 Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση στο Ελληνικό Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ της Α/θμιας Εκπαίδευσης 40

1.7 Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Επισκόπησης 54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{Ο}: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 56

2.1 Ερευνητικά Ερωτήματα 56

2.2 Διαμόρφωση Ερευνητικού Εργαλείου Συλλογής Δεδομένων 58

2.3 Το δείγμα 68

2.4 Η μέθοδος ανάλυσης περιεχομένου ως μέθοδος ανάλυσης δεδομένων 69

2.4.1. Βιβλιογραφικές μέθοδοι ανάλυσης αντιλήψεων για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης 70

2.5 Ανάλυση των δεδομένων της έρευνας 72

2.6 Κατηγορίες Ανάλυσης 74

2.6.1. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον ορισμό του μοντέλου 74

2.6.2. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την ομοιότητα του μοντέλου με τον στόχο που αναπαρίσταται 75

2.6.3. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την πολλαπλότητα των μοντέλων .. 76

2.6.4. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον τρόπο κατασκευής των μοντέλων 77

2.6.5. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον σκοπό των μοντέλων 78

2.6.6. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την αλλαγή των μοντέλων 79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο}: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 81

3.1 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τον ορισμό του μοντέλου 81

3.2 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τον βαθμό ομοιότητας του μοντέλου με τον αναπαριστώμενο στόχο 85
3.3 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για την πολλαπλότητα των μοντέλων 87
3.4 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για την κατασκευή των μοντέλων 90
3.5 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τον σκοπό των μοντέλων 92
3.6 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τα είδη των μοντέλων 94
3.7 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων 95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο}: ΣΥΖΗΤΗΣΗ 99
4.1 Απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα - Συζήτηση 99
4.2 Τελικές Επισημάνσεις 105
4.3 Αλλαγές στο Ερευνητικό Εργαλείο 107
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 111
Παράρτημα Α 117
Παράρτημα Β 119

Περίληψη

Οι σύγχρονες τάσεις στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών υποστηρίζουν ότι η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και η ενεργός εμπλοκή σε πρακτικές μοντελοποίησης, μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση ενός επιστημονικού περιεχομένου καθώς και την κατανόηση της διαδικασίας κατασκευής και αξιολόγησης της επιστημονικής γνώσης. Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι αντιλήψεις φοιτητών/τριών Προσχολικής και Δημοτικής Εκπαίδευσης για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης. Ειδικότερα, το δείγμα της έρευνας συγκροτήθηκε από 117 πρωτοετείς φοιτητές/τριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών Φλώρινας και από 141 φοιτητές/τριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης Φλώρινας (οι 80 πρωτοετείς και οι 61 τριτοετείς). Για την συλλογή των δεδομένων, αναπτύχθηκε ένα γραπτό ερωτηματολόγιο με έργα ανοιχτού τύπου, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σε προγενέστερες σχετικές έρευνες. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να αναπτύξουν τις αντιλήψεις τους για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης, την πολλαπλότητα, την κατασκευή και την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την απαγωγική μέθοδο ανάλυσης περιεχομένου, σύμφωνα με την οποία οι απαντήσεις των συμμετεχόντων ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες με κριτήριο αν μοιράζονται ή όχι κοινά νοήματα, λαμβάνοντας υπόψη πορίσματα της σχετικής βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, παρόλο που αρκετοί συμμετέχοντες αναγνωρίζουν την χρησιμότητα των μοντέλων στην εξήγηση ή στην ανάπτυξη κατανόησης για το πώς συμπεριφέρεται ένα αντικείμενο / φαινόμενο, ή ότι τα μοντέλα είναι δυνατόν να αλλάξουν μόλις βρεθούν νέα επιστημονικά δεδομένα, ωστόσο, διαπιστώνεται αβεβαιότητα σχετικά με το αν το μοντέλο πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο ή αν μοιάζει, μέχρι ποιον βαθμό θα έπρεπε να μοιάζει. Με βάση τα ευρήματα, ανακύπτει ο προβληματισμός για το πώς οι φοιτητές/τριες θα αξιοποιήσουν τα μοντέλα στην διδασκαλία εννοιών ή θα εμπλέξουν τους μαθητές τους σε πρακτικές μοντελοποίησης, όπως ορίζεται από το Πρόγραμμα Σπουδών του Νηπιαγωγείου και του Δημοτικού Σχολείου για τις Φυσικές Επιστήμες.

Λέξεις Κλειδιά: Αντιλήψεις, μοντέλα και μοντελοποίηση, φοιτητές/τριες Παιδαγωγικών Τμημάτων

Abstract

According to recent trends in Science education, the understanding of the nature and role of models and the active enrollment in modeling practices, may enhance the understanding of the science content as well as the understanding of the process of constructing and evaluating scientific knowledge. In the present work, the Preschool and Primary Education student teachers' views on the nature and role of models and modeling are examined. In particular, the research sample was consisted of 117 first year students of Early Childhood Education and 141 students of the Primary Education Department of Florina (80 first year and 61 third-year students). For data collection purposes, a written questionnaire was developed that consisted of open-ended tasks, which have been implemented in previous related studies. The participants were asked to develop their understanding of the nature and role of models and modeling, the multiplicity construction and changeability of models. The deductive method of content analysis was implemented for analyzing the data. According to the method the responses of the participants were grouped into categories whether or not they share common meanings, taking into account the findings of the relevant literature. According to the results, although several participants recognized the usefulness of models in explaining or developing an understanding of how an object / phenomenon behaves, or that models can be changed as new scientific data is found, however, there is uncertainty about with whether the model should look alike the original, or if it does, to what extent it should resemble it. Based on the findings, question arises as to how student teachers will utilize models in introducing scientific concepts or engage their students in modeling practices, as these concepts and practices are suggested by the Kindergarten and Primary School Science Curriculum.

Key words: Views, models and modeling, Primary and Early Childhood student teachers

Εισαγωγή

Οι νέες εξελίξεις στον τομέα της επιστήμης και της τεχνολογίας, και η επίδραση που αυτές ασκούν στην καθημερινότητά μας, καθιστούν την καλλιέργεια του επιστημονικού γραμματισμού των πολιτών αναγκαιότητα. Ένας από τους βασικούς λόγους αφορά τις περιπτώσεις στις οποίες οι πολίτες καλούνται ή/και θα κληθούν να πάρουν σημαντικές αποφάσεις για τα νέα επιτεύγματα με ενημερωμένο τρόπο. Ήδη στη σημερινή εποχή, οι πολίτες καλούνται να αποφασίσουν αν το εμβόλιο κατά του κορωνοϊού αποτελεί για αυτούς ένα ασφαλές μέτρο πρόληψης έναντι της ασθένειας που αυτός ο ιός προκαλεί ή όχι. Ένα κομμάτι του επιστημονικού γραμματισμού αφορά την ικανότητα διατύπωσης επιχειρημάτων που βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα, το οποίο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την κατασκευή, εφαρμογή και αξιολόγηση των επιστημονικών μοντέλων (Khan & Krell, 2021). Για παράδειγμα, προκειμένου οι μαθητές να αντιληφθούν τον τρόπο δράσης του κορωνοϊού ώστε να προστατευτούν από αυτόν, οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν μοντέλα είτε έτοιμα είτε κατασκευασμένα από τους ίδιους, ώστε οι μαθητές να αναπτύξουν κατανόηση για τον τρόπο δράσης του ιού. Νέα επιτεύγματα της τεχνολογίας έχουν παράγει όργανα μοντελοποίησης, τα οποία παρέχουν στους επιστήμονες νέους τρόπους δημιουργίας θεωριών, πρόβλεψης διαδικασιών, δοκιμασίας ιδεών και ανάλυσης δεδομένων. Ειδικότερα, μεγαλύτερες δυνατότητες στους υπολογιστές επιτρέπουν ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων, που με τη σειρά της, μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερους υπολογισμούς και πιο ακριβείς προβλέψεις εξέλιξης πολύπλοκων συστημάτων (Schwartz et al. 2005). Έτσι, τα μοντέλα και η μοντελοποίηση θεωρούνται πολύ βασικά συστατικά του επιστημονικού γραμματισμού (Chiu & Lin, 2019 ; Heijnes, van Joolingen, & Leenaars, 2018).

Ο κρίσιμος ρόλος των μοντέλων στην επιστημονική πρακτική αποτελεί ένα βασικό επιχείρημα για την συμπερίληψη των μοντέλων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (από εδώ και στο εξής ΦΕ). Το επιχείρημα στηρίζεται στο γεγονός ότι παρέχει μια σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο κόσμων, και ότι η απόκτηση κατανόησης του ρόλου των μοντέλων συμβάλλει σε μια «αυθεντική» εκπαίδευση στις ΦΕ στην οποία η εκπαίδευση αντανακλά το φύση του εκάστοτε επιστημονικού κλάδου (χημεία, φυσική κ.λπ.) όσο το δυνατόν περισσότερο. Εξάλλου, σύγχρονες τάσεις στην εκπαίδευση των Φ.Ε, που επικαλούνται είτε καινοτομίες σε προγράμματα σπουδών διάφορων χωρών που έχουν ως βάση τον επιστημονικό γραμματισμό (Henze at al. 2007), είτε μία αναμόρφωση -βασισμένης στην έρευνα- στον τρόπο εκπαίδευσης των Φ.Ε (research – based reform in science education) (Schwartz et al. 2005), υποστηρίζουν ότι η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και η ενεργός εμπλοκή των μαθητών σε πρακτικές μοντελοποίησης, μπορεί να τους βοηθήσει στο να κατανοήσουν ένα επιστημονικό περιεχόμενο, να

διαπραγματευτούν ζητήματα επιστημολογίας, και να τους εξασκήσει στη κατασκευή και αξιολόγηση της επιστημονικής γνώσης.

Από την άλλη πλευρά, η μοντελοποίηση θεωρείται ως βασική διαδικασία για την παραγωγή, την επικύρωση, τη διάδοση και τη χρήση της επιστημονικής γνώσης, και για αυτό το λόγο οι ερευνητές της Διδακτικής των ΦΕ έχουν τονίσει τη σημασία της ένταξής της στα σχολικά πλαίσια (Gilbert & Justi, 2016). Σε μία προσπάθεια να εμπλακούν οι μαθητές στις πρακτικές της μοντελοποίησης έχουν αναπτυχθεί από διάφορες ομάδες ερευνητών μοντελοκεντρικές διδασκαλίες και επιμορφώσεις σε μαθητές, φοιτητές, εν ενεργεία και μελλοντικούς εκπαιδευτικούς με περιεχόμενο από διάφορες πειθαρχίες των ΦΕ (π.χ. φυσική, χημεία, βιολογία), με στόχο να καλλιεργηθεί η ικανότητα των μαθητών να χρησιμοποιήσουν τα επιστημονικά μοντέλα ώστε να αναπτύξουν κατανόηση για τα φαινόμενα του φυσικού κόσμου, αλλά και ικανότητα των εκπαιδευτικών να ενθαρρύνουν προς την κατεύθυνση αυτή τους μαθητές τους (π.χ. Lazenby & Becker, 2021; Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtou, & Kariotoglou, 2016; Soulios & Psillos, 2016; Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014; Schwarz, et al., 2009).

Εξαιτίας της αδιαμφισβήτητης αξίας της κατασκευής και χρήσης των μοντέλων στη ανάπτυξη γνώσης περιεχομένου, κριτικής σκέψης και επιστημολογική γνώσης, έχει γίνει μέχρι σήμερα εκτεταμένη έρευνα ώστε να αναδειχθεί η προϋπάρχουσα γνώση και οι αντιλήψεις μελλοντικών και εν ενεργεία εκπαιδευτικών για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση. Τα μέχρι σήμερα βιβλιογραφικά δεδομένα στον διεθνή αλλά και στον ελληνικό χώρο δείχνουν την περιορισμένη γνώση και εμπειρία των εκπαιδευτικών για τη μοντελοποίηση. Για παράδειγμα, αντί να θεωρούν τα μοντέλα ως εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν τη φύση της επιστήμης ή ως εργαλεία για την υποστήριξη της σκέψης και την προώθηση της συλλογιστικής που βασίζεται σε μοντέλα, πολλοί δάσκαλοι αντιλαμβάνονται τα μοντέλα απλά ως εργαλεία για τη διδασκαλία ενός επιστημονικού περιεχομένου Κουκιόγλου & Ψύλλος, 2020; Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016; Everett, Otto, & Luera, 2009; Crawford & Cullin, 2004).

Ειδικότερα, στον ελληνικό χώρο, έχουν δημοσιευτεί σε συνέδρια ένας αριθμός εργασιών για τις αντιλήψεις και την προϋπάρχουσα γνώση μαθητών (Κουκιόγλου & Ψύλλος, 2020), εν ενεργεία εκπαιδευτικών ΦΕ (Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017) και μελλοντικών εκπαιδευτικών Α/θμιας εκπαίδευσης (Σούλιος & Ψύλλος, 2013; Σούλιος & Ψύλλος, 2011; Πετρίδου & Ψύλλος, 2008). Στις εργασίες αυτές καταγράφεται αφενός η κατακερματισμένη γνώση των συμμετεχόντων για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση, και αφετέρου η απουσία της διδασκαλίας περί της φύσης των μοντέλων και της μοντελοποίησης από εν ενεργεία εκπαιδευτικούς. Οι έρευνες που αφορούν την ανάδειξη των αντιλήψεων μελλοντικών εκπαιδευτικών

Προσχολικής και Δημοτικής εκπαίδευσης είναι λίγες σε αριθμό. Ο προβληματισμός για αυτό το χάσμα γίνεται ακόμα μεγαλύτερος αν αναλογιστεί κανείς ότι στα Προγράμματα Σπουδών ΦΕ του Νηπιαγωγείου και στο αντίστοιχο ΦΕ και Τεχνολογίας του Δημοτικού Σχολείου συμπεριλαμβάνονται όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης.

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στο να συνεισφέρει στην κάλυψη αυτού του κενού. Ξεκινά από μία επισκόπηση της βιβλιογραφίας ώστε να αποσαφηνιστούν στοιχεία της φύσης των μοντέλων και της μοντελοποίησης. Παράλληλα, γίνεται καταγραφή των αντιλήψεων που έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα στην βιβλιογραφία. Επιπρόσθετα, μελετώνται το Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ του Νηπιαγωγείου και το Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ και Τεχνολογίας του Δημοτικού Σχολείου ώστε να εντοπιστούν οι όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης που ο μελλοντικός εκπαιδευτικός της Προσχολικής και Δημοτικής εκπαίδευσης καλείται να γνωρίζει ώστε να σχεδιάζει και να εφαρμόζει τις κατάλληλες μαθησιακές εμπειρίες στα παιδιά. Υπάρχει η προσδοκία τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας να συνεισφέρουν στην γενικότερη έρευνα περί των αντιλήψεων για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση και να συνεισφέρει στον γενικότερο προβληματισμό για την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, ώστε να υποστηριχθούν να τα εντάξουν στην μαθησιακή διαδικασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΟΛΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

1.1 Προσέγγιση της έννοιας «μοντέλο»

1.1.1 Ορισμοί

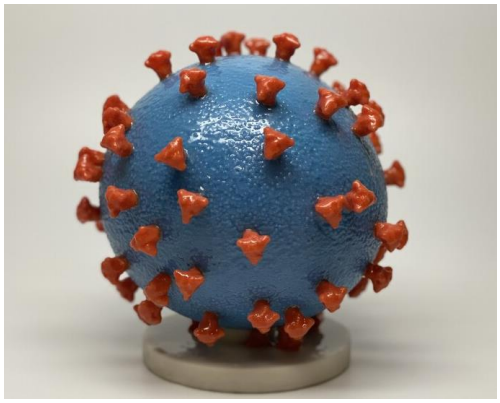
Η συμπερίληψη των μοντέλων και της μοντελοποίησης ως ένα πεδίο έρευνας στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών ξεκίνησε κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980 (Gilbert & Justi, 2016). Από τότε, οι ερευνητές στην Διδακτική των ΦΕ έχουν ενδιαφερθεί να κατανοήσουν 1) πώς οι επιστήμονες αξιοποίησαν τα μοντέλα για να συγκροτήσουν την επιστημονική τους εργασία, 2) ποιες είναι οι αντιλήψεις των μαθητών και των εκπαιδευτικών για τα μοντέλα, 3) ποιοι είναι οι ρόλοι των μοντέλων και της μοντελοποίησης στη διδασκαλία και μάθηση των Φυσικών Επιστημών και 4) την φύση των μοντέλων και της μοντελοποίησης (Chiu & Lin, 2019).

Από τις πρώτες έρευνες που ασχολήθηκαν με την συμπερίληψη των μοντέλων και της μοντελοποίησης σε εκπαιδευτικά πλαίσια ήταν της Grosslight και των συνεργατών της (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991). Στη συγκεκριμένη έρευνα η γνώση για τα μοντέλα θεωρείται ότι ανήκει στην γνώση για την φύση της επιστήμης, την λεγόμενη επιστημολογική γνώση. Ειδικότερα, ένα μέρος της δουλειάς των επιστημόνων αφορά στην κατασκευή, στην εφαρμογή και στην αναθεώρηση των θεωρητικών μοντέλων τους. Μάλιστα, στην ίδια έρευνα, αναφέρεται ότι στα πλαίσια της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες, «η επιστήμη» θα μπορούσε να οριστεί ως μία διαδικασία κατασκευής προβλεπτικών εννοιολογικών μοντέλων (Grosslight et al. 1991).

Παρά την αναγνώριση της σημασίας των μοντέλων και της μοντελοποίησης, δεν υπάρχει ένας ενιαίος ορισμός της έννοιας του μοντέλου στην επιστήμη και στην Διδακτική των ΦΕ (zu Belzen, van Driel, & Krüger, 2019). Στα πλαίσια της Επιστήμης της Διδακτικής των ΦΕ μπορούν να βρεθούν διάφοροι ορισμοί για το είναι ή τι δεν είναι μοντέλο (Chiu & Lin, 2019). Για παράδειγμα, ένα μοντέλο ορίζεται είτε απλά ως η αναπαράσταση ενός στόχου (π.χ. Grosslight, et al. 1991) είτε ως ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της εννοιολογικής κατανόησης, της επίλυσης προβλήματος, και της πρόβλεψης φαινομένων (π.χ. Cheng & Lin, 2015; Justi & Gilbert, 2002), είτε ένα ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη λήψη πληροφοριών από στόχους που είναι είτε πολύ μικροί (π.χ. άτομο), είτε πολύ μεγάλοι (π.χ. πλανήτες), είτε συμβαίνουν πολύ αργά ή γρήγορα, είτε πολύ παλιοί

χρονικά (π.χ. εμφάνιση δεινοσαύρων), είτε πολύ μακρινοί (π.χ. μία μαύρη τρύπα) (Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016). Ένα μοντέλο είναι επίσης μία αναπαράσταση που απλοποιεί ένα σύστημα εστιάζοντας σε βασικά χαρακτηριστικά για να εξηγήσει και να προβλέψει τα επιστημονικά φαινόμενα (Schwarz et al., 2009). Τα μοντέλα μπορούν να εκπληρώσουν όχι μόνο ερμηνευτικές αλλά και επινοητικές λειτουργίες, με την έννοια ότι αποτελούν εργαλεία ανάπτυξης της γνώσης και της κατανόησης (Chiu & Lin, 2019).

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τον Gilbert (1991) μοντέλο είναι μία απλοποιημένη αναπαράσταση ενός αντικειμένου, ενός γεγονότος, μίας ιδέας, μίας διαδικασίας, ή γενικότερα ενός συστήματος, η οποία αναδεικνύει ορισμένα ειδικά στοιχεία του υπό μελέτη συστήματος. Απλοποιημένη αναπαράσταση σημαίνει ότι τα μοντέλα διακρίνονται από υψηλό βαθμό αφαίρεσης, αφού εσκεμμένα παραβλέπονται ή ακόμα και τροποποιούνται οι λεπτομέρειες του συστήματος που αναπαρίσταται, ώστε η προσοχή να εστιαστεί σε χαρακτηριστικά – κλειδιά του συστήματος τα οποία ενδιαφέρουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χαθεί η ολοκληρωτική ταύτιση του μοντέλου με το σύστημα. Οι Crawford & Cullin (2004) ξεκαθαρίζουν ότι τα «μοντέλα αναπαριστούν ιδέες και όχι τα φυσικά αντικείμενα» (σελ. 1381). Για παράδειγμα, οι συγγραφείς θεωρούν ανακριβές να χαρακτηρίζεται η αναπαράσταση της παρακάτω εικόνας (Εικόνα 1) απλά ως «μοντέλο ιού». Κατά αυτούς η σωστότερη έκφραση θα ήταν, για παράδειγμα, μοντέλο του *σχήματος* του ιού. Οι ιδέες στις οποίες οι συγκεκριμένοι ερευνητές αναφέρονται μπορεί να είναι ιδιότητες – χαρακτηριστικά του αντικειμένου που αναπαρίσταται, όπως σχήμα, χρώμα, δομή κτλ (Crawford & Cullin, 2004).

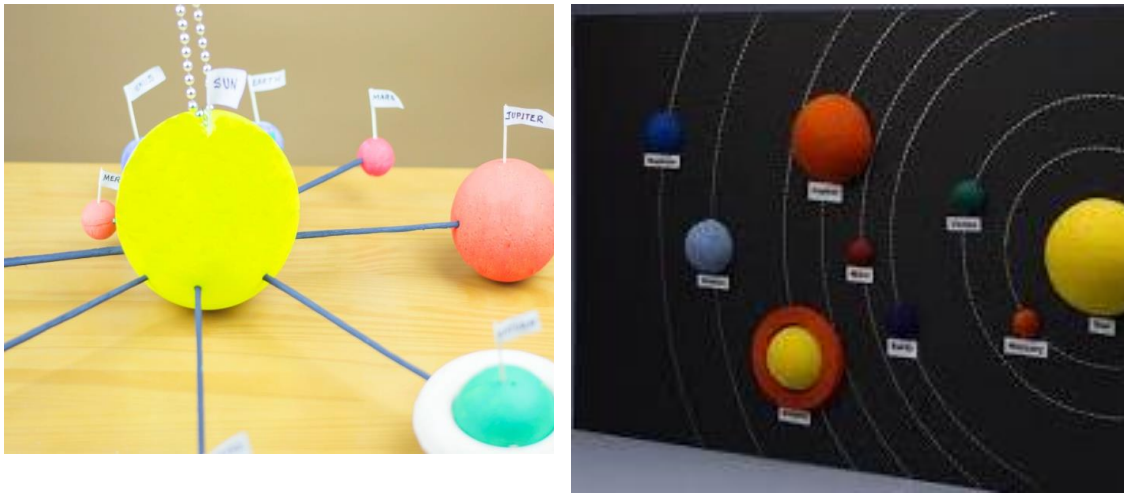


Εικόνα 1: Τρισδιάστατο μοντέλο ιού. Από https://www.kunc.org/health/2020-04-07/all-models-are-wrong-but-some-are-useful-what-covid-19-predictions-can-and-cant-tell-us

Κατά τους Schwartz & White (2005) ένα επιστημονικό μοντέλο ορίζεται ως ένα σύνολο αναπαραστάσεων, κανόνων και συλλογισμών που επιτρέπουν σε κάποιον να δημιουργεί προβλέψεις και εξηγήσεις. Τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να ποικίλουν σε μορφή από μοντέλα κλίμακας (π.χ του ηλιακού συστήματος) έως ηλεκτρονικές προσομοιώσεις (π.χ συγκρούσεις γαλαξιών), σε ποσοτικούς νόμους όπως F = ma, σε ποιοτικούς κανόνες όπως «όταν δεν ενεργούν δυνάμεις, η

ταχύτητα ενός αντικειμένου παραμένει η ίδια, επειδή δεν υπάρχει τίποτα που να το κάνει να αλλάξει». Μοντέλα αυτού του τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς διατύπωσης προβλέψεων ή εξηγήσεων (Schwarz & White, 2005).

Στην ίδια κατεύθυνση, κατά τους Justi & Van Driel (2006) ένα μοντέλο ορίζεται σαν μία μη μοναδική, μερική αναπαράσταση ενός στόχου, που επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες πλευρές του. Η λέξη στόχος αναφέρεται σε ένα σύστημα, ένα αντικείμενο, μία διαδικασία, μία ιδέα ή ένα φαινόμενο (event) (Justi & Van Driel, 2006). Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ο στόχος ο οποίος πρόκειται να αναπαρασταθεί είναι το πλανητικό σύστημα (Εικόνα 2). Όπως φαίνεται στην εικόνα, δεν υπάρχει μοναδική αναπαράσταση του πλανητικού συστήματος. Κάθε μία από τις εικονιζόμενες αναπαραστάσεις επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες πλευρές του συστήματος-στόχου. Για παράδειγμα, το μοντέλο που εικονίζεται αριστερά επικεντρώνεται στο να αναδείξει τους πλανήτες που ανήκουν στο πλανητικό μας σύστημα, ενώ το μοντέλο στο δεξί μέρος παρέχει την επιπλέον πληροφορία, της διαφορετικής απόστασης του κάθε πλανήτη από τον Ήλιο.



Εικόνα 2: Μοντέλα πλανητικού συστήματος (αριστερή εικόνα από https://sciencing.com/make-solar-system-model-home-school-project-12071411.html, δεξιά εικόνα από https://gr.pinterest.com/jill577/solar-system-model-project/

Οι ερευνητές αναφέρουν επίσης ότι τα μοντέλα αποτελούν βασικό εργαλείο της επιστημονικής έρευνας, αφού επιτρέπουν στους επιστήμονες μεταξύ άλλων να αποκτήσουν πρόσβαση σε αφηρημένες διαδικασίες και οντότητες, να παρέχουν εξηγήσεις για αυτές και να διατυπώνουν προβλέψεις. Παράλληλα, τονίζουν την σημασία των μοντέλων στην εκπαίδευση στις ΦΕ και στους σκοπούς που αυτή θέτει: δηλαδή στη μάθηση της επιστήμης (να μάθουν οι μαθητές έννοιες, αρχές και φαινόμενα), στη μάθηση για την επιστήμη (να μάθουν οι μαθητές για τη φιλοσοφία, την ιστορία και τη μεθοδολογία της επιστήμης) και στη μάθηση οι μαθητές να διεξάγουν επιστήμη (να μπορούν δηλαδή να πάρουν μέρος σε δραστηριότητες που

στοχεύουν στη κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης). Τα μοντέλα παίζουν σημαντικό ρόλο στις κατευθύνσεις αυτές. Ειδικότερα, όσο αφορά την κατεύθυνση οι μαθητές:

α) να μάθουν επιστήμη. Τα μοντέλα βοηθούν τους μαθητές να μάθουν επιστημονικές έννοιες και αρχές όταν μάθουν τα επιστημονικά και ιστορικά μοντέλα, τους σκοπούς και τα όρια αυτών των μοντέλων,

β) να μάθουν για την επιστήμη. Οι μαθητές θα μάθουν για την επιστήμη όταν μάθουν για τη φύση των μοντέλων και όταν είναι ικανοί να εκτιμούν το ρόλο των μοντέλων στη διάδοση και την εγκυροποίηση της επιστημονικής γνώσης ως παράγωγο της διερεύνησης,

γ) να μάθουν να κάνουν επιστήμη. Οι μαθητές θα μάθουν να κάνουν επιστήμη όταν μαθαίνουν να κατασκευάζουν, να εκφράζουν και να δοκιμάζουν τα δικά τους μοντέλα (Justi & Van Driel, 2006).

Για τον Coll (2006) το μοντέλο δε μπορεί ποτέ να αντιστοιχεί απόλυτα σε κάτι πραγματικό. Αντίθετα, κάθε μοντέλο είναι από τη φύση του μία προσέγγιση της πραγματικότητας. Ένα μοντέλο θεωρείται επιτυχημένο εάν ερμηνεύει με ακρίβεια τη γνωστή συμπεριφορά (παρατηρήσεις, ενδείξεις, πειραματικά δεδομένα κλπ) του φαινομένου που μελετάται και εάν προβλέπει σωστά τα αποτελέσματα μελλοντικών πειραμάτων. Τα μοντέλα χρειάζεται συχνά να τροποποιηθούν όταν προκύπτουν νέα πειραματικά δεδομένα. Ένα μοντέλο χρησιμοποιείται:

Α. για να αναπαραστήσει απλούστερες μορφές αντικειμένων, ή εννοιών (μοντέλο αυτοκινήτου, μοντέλο του ατόμου),

Β. για να οπτικοποιηθούν αντικείμενα ή συστήματα (πχ οπτικοποίηση της έλικας του DNA και του ηλιοκεντρικού συστήματος αντίστοιχα),

Γ. για την παραγωγή εξηγήσεων των φυσικών φαινομένων (π.χ. το μοντέλο για την εξήγηση της εναλλαγής μέρας - νύχτας),

Δ. για την διατύπωση προβλέψεων σχετικά με το πώς μπορεί να συμπεριφερθεί ένα φαινόμενο.

Η Schwarz και οι συνεργάτες της (2009) ορίζουν το μοντέλο σαν μία απλοποιημένη αναπαράσταση ενός συστήματος ή φαινομένου, η οποία καθιστά τα βασικά του χαρακτηριστικά άμεσα (explicit) και ορατά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να παράγει εξηγήσεις και προβλέψεις. Κατά την ίδια ομάδα ερευνητών, δεν είναι όλες οι αναπαραστάσεις μοντέλα. Τα μοντέλα είναι ειδικές αναπαραστάσεις που

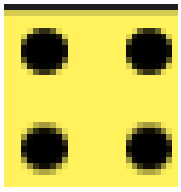
ενσωματώνουν τις πτυχές του μηχανισμού, της αιτιότητας ή λειτουργούν για να απεικονίσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν φαινόμενα. Η συγκεκριμένη ομάδα ερευνητών αναγνωρίζει τρία υποψηφία συστατικά (candidate components) που θα πρέπει να περιέχει μία μαθησιακή πρόοδος (learning progression) σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Τα συστατικά αυτά είναι η φύση των μοντέλων, ο σκοπός των μοντέλων και η αξιολόγηση-αναθεώρηση των μοντέλων. Κάθε ένα από αυτά τα συστατικά, περιλαμβάνει συγκεκριμένες όψεις. Συγκεκριμένα (Schwarz et al., 2009):

● Αναφορικά με την φύση των μοντέλων:

(Α) Τα μοντέλα αναπαριστούν έννοιες, διαδικασίες και οντότητες που δεν είναι ορατές με το μάτι ή είναι αφηρημένες.

Για παράδειγμα, στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 3 και 4) φαίνεται ένα μοντέλο του DNA και ένα μοντέλο της έννοιας πυκνότητα αντίστοιχα.

Εικόνα 3: Μοντέλο του DNA. Από https://www.istockphoto.com/photo/colorful-dna-model-gm528099965-53396048



Εικόνα 4: Μοντέλο της πυκνότητας

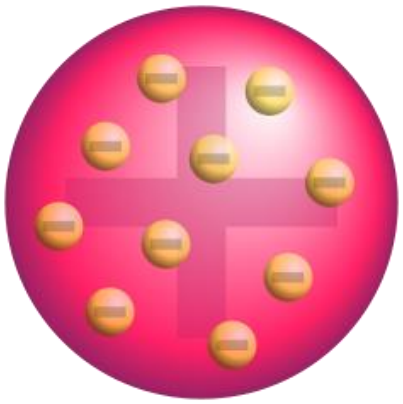
(Β) Τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις που έχουν όρια σε αυτά που αναπαριστούν.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση του μοντέλου της εικόνας 3 ναι μεν φαίνεται ότι το DNA αποτελείται από δύο έλικες τυλιγμένες η μία γύρω από την άλλη, ωστόσο δεν απεικονίζονται άλλα χαρακτηριστικά της δομής του, όπως οι χημικές ενώσεις από τις οποίες αποτελείται (γουανίνη, κυτοσίνη κτλ).

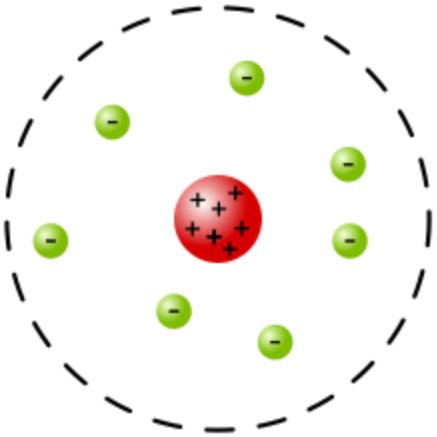
(Γ) Τα μοντέλα μπορούν να αλλάξουν ώστε να ανταποκρίνονται στην αύξηση της κατανόησης μας για τις οντότητες, τις διαδικασίες και τα φαινόμενα.

Για παράδειγμα, στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 5 και 6) φαίνονται δύο από τα ατομικά μοντέλα, το μοντέλο στου σταφιδόψωμου του Thomson (1904) και το

ατομικό μοντέλο του Rutherford (1911). Σύμφωνα με το μοντέλο του Thomson, το άτομο αποτελείται από μία θετικά φορτισμένη σφαίρα μέσα στην οποία κυκλοφορούν τα ηλεκτρόνια. Με τα πειράματα σκέδασης, ο Rurtherford απέδειξε ότι το θετικό φορτίο δεν είναι απλωμένο σε μία σφαίρα, όπως όριζε το μοντέλο του σταφιδόψωμου, αλλά συγκεντρωμένο σε μία μικρή περιοχή του ατόμου. Αυτό το εύρημα είχε ως αποτέλεσμα το μοντέλο του Thomson να εγκαταλειφθεί γρήγορα.



Εικόνα 5: Ατομικό μοντέλο του Thomson. Από https://el.wikipedia.org



Εικόνα 6: Ατομικό μοντέλο του Rurherfod Από https://el.wikipedia.org

(Δ) Υπάρχουν διάφοροι τύποι μοντέλων, όπως διαγράμματα, προσομοιώσεις, υλιστικά μοντέλα κτλ.

● Αναφορικά με τον σκοπό των μοντέλων:

(Α) Τα μοντέλα αποτελούν εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιος ώστε να οικοδομήσει την γνώση για ένα φαινόμενο.

(Β) Τα μοντέλα αποτελούν εργαλεία που μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιος ώστε να επικοινωνήσει τη γνώση σε κάποιον άλλο.

(Γ) Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη νέας γνώσης, μέσω της πρόβλεψης των διαδικασιών που διέπουν ένα φαινόμενο.

(Δ) Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απεικονίσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν φαινόμενα.

● Αναφορικά με τα κριτήρια για την αξιολόγηση και αναθεώρηση των μοντέλων:

(Α) Τα μοντέλα χρειάζεται να βασίζονται σε τεκμήρια σχετικά με την διαδικασία με την οποία συμβαίνει ένα φαινόμενο.

(Β) Τα μοντέλα χρειάζεται να περιλαμβάνουν ότι χρειάζεται ώστε να εξυπηρετήσουν τον σκοπό για τον οποίο έχουν κατασκευαστεί.

1.1.2 Βασικά Χαρακτηριστικά των μοντέλων

Μπορούμε να διαπιστώσουμε από την μέχρι τώρα βιβλιογραφική επισκόπηση, ότι διαφορετικοί ερευνητές υιοθετούν διαφορετικό ορισμό για τα μοντέλα. Αντί της παράθεσης ενός ορισμού για τα μοντέλα, διαπιστώνεται η τάση, ερευνητές να καταλήγουν και να περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων (π.χ. Lazenby & Becker, 2021; Lee, Chang, & Wu, 2017; Cheng & Lin, 2015; Oh & Oh, 2011). Σε αυτήν κατεύθυνση, οι Oh & Oh (2011) στην έρευνα τους σχετικά με το τι εκπαιδευτικοί Φυσικών Επιστημών χρειάζεται να γνωρίζουν για τα μοντέλα, αποφεύγουν να παράσχουν έναν συγκεκριμένο ορισμό, αναγνωρίζοντας ότι η ερευνητική κοινότητα δεν είχε καταλήξει σε έναν καθολικά συμφωνημένο ορισμό, τουλάχιστον μέχρι τη χρονιά δημοσίευσης του άρθρου. Για το λόγο αυτό, και αντί οι ίδιοι να προτείνουν έναν δικό τους ορισμό, καταφεύγουν στο να παρουσιάσουν τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των μοντέλων, όπως αυτά σκιαγραφήθηκαν από τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας. Σε πιο σύγχρονες έρευνες που αφορούν στην συμπερίληψη των μοντέλων στην διδασκαλία και στη μάθηση διαπιστώνουμε ότι οι συγγραφείς χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά των μοντέλων που περιγράφηκαν από τους Oh & Oh (2011) (π.χ Chiu & Lin, 2019; Κουκιόγλου & Ψύλλος, 2020). Για το λόγο αυτό παρακάτω ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών αυτών, όπως τα συνέλαβαν οι Oh & Oh (2011).

Σύμφωνα με αυτήν την ομάδα λοιπόν, τέσσερα είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων (Oh & Oh, 2011):

(Α) τα μοντέλα είναι εργαλεία αναπαράστασης

Η «αναπαράσταση» αποτελεί έναν όρο, που σύμφωνα με τους συγγραφείς χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην εννοιολόγηση του «μοντέλου». «Πολύ απλά, μοντέλο είναι κάτι που αναπαριστά κάτι άλλο» (σελ. 1112). Για παράδειγμα, μία μινιατούρα ενός ηφαιστείου αναπαριστά ένα ηφαίστειο, ενώ το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης που υιοθετείται από την Αστρονομία αναπαριστά μία ιδέα για την γέννηση του σύμπαντος.

Σύμφωνα με τους Oh & Oh (2011) διαπιστώνεται μία ευρεία ποικιλία στο τι μπορεί να αναπαραστήσει ένα μοντέλο, όπως παρατηρήσιμες ή μη παρατηρήσιμες

οντότητες, τις ιδιότητες τους, φυσικές διαδικασίες (π.χ. μοντέλο αναπαράστασης του κύκλου του νερού), αλληλουχία γεγονότων-σταδίων για το πώς λειτουργεί ένα φυσικό σύστημα (π.χ. μοντέλο που περιγράφει τα στάδια της φωτοσύνθεσης) κτλ. Όλα τα παραπάνω αποτελούν τον «στόχο» (target) του μοντέλου. Με την πρώτη ματιά, τα μοντέλα είναι απλοποιημένες ή μεγεθυμένες εκδόσεις ορισμένων αντικειμένων. Μοντέλα κλίμακας, όπως μοντέλο διαστημικού λεωφορείου σε μέγεθος παιχνιδιού και γύψινο μοντέλο ενός ηφαιστείου κατασκευάζονται ως αντιληπτικά όμοια με τους στόχους τους με μεγέθυνση ή ελάττωση των εξωτερικών διαστάσεων των στόχων που αναπαριστούν. Ωστόσο, οι συγγραφείς τονίζουν ότι τα μοντέλα δεν αναπαριστούν πραγματικά συστήματα ώστε να τα μιμούνται ή να τα αντιγράφουν. Περισσότερο, τα μοντέλα κατασκευάζονται ώστε να περιλάβουν θεωρητικές και αφηρημένες οντότητες. Για παράδειγμα, ο νόμος της παγκόσμιας Έλξης του Νεύτωνα μπορεί να νοηθεί ως ένα θεωρητικό μοντέλο μιας και ορίζει ιδεατές οντότητες, όπως το κέντρο μάζας ή το σημειακό αντικείμενο.

Ένα μοντέλο δεν αναπαριστά όλα τα χαρακτηριστικά του στόχου, επειδή η αναπαράσταση δεν σημαίνει ομοιότητα. Επειδή ακριβώς το μοντέλο επικεντρώνεται στο να αναδείξει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενός στόχου και μόνο αυτά, χρησιμοποιείται ο όρος «αναπαράσταση». «Με άλλα λόγια, αν το μοντέλο μοιάζει ακριβώς με τον στόχο τότε δεν θα ήταν μοντέλο αλλά ένα πιστό αντίγραφο της πραγματικότητας» (σελ. 1113). Τα χαρακτηριστικά στα οποία επικεντρώνεται ένα μοντέλο επιλέγονται από τον κατασκευαστή του έτσι ώστε να εξυπηρετούν τον σκοπό που αυτός έχει θέσει. Για το λόγο αυτό τα μοντέλα χαρακτηρίζονται από απλοποιήσεις και αφαιρέσεις έτσι ώστε το χαρακτηριστικό που αναπαρίσταται να είναι ξεκάθαρο. Για παράδειγμα, μία φωτογραφία ενός ανεμοστρόβιλου δεν μπορεί να αποτελέσει μοντέλο, εκτός αν χρησιμοποιηθεί ώστε να αναπαραστήσει συγκεκριμένη όψη ενός πραγματικού ανεμοστρόβιλου.

Οι Lee et al.(2017) αναγνωρίζουν ότι μπορεί οι όροι «μοντέλα» και «αναπαράσταση» να συνδέονται στενά, ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι όλες οι αναπαραστάσεις είναι μοντέλα. Αντίθετα η αναπαράσταση αποτελεί το μέσο μέσα από το οποίο γίνεται η έκφραση του μοντέλου. Τα μοντέλα είναι ειδικά οργανωμένες αναπαραστάσεις, οι οποίες εξωτερικεύουν τον μηχανισμό, την αιτιότητα ή τη λειτουργία, ώστε να απεικονίσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν φαινόμενα. Για παράδειγμα, χάρτες, διαγράμματα και πίνακες αποτελούν είδη μοντέλων που βοηθούν στην οπτικοποίηση μοτίβων, εξελίξεων και σχέσεων. Ένα μοντέλο έχει διάφορα επίπεδα αφαίρεσης του στόχου ανάλογα με τον σκοπό που καλείται να επιτελέσει. Ένα μη μοντέλο, ωστόσο, δεν αντιπροσωπεύει έναν στόχο και δεν εξυπηρετεί τους σκοπούς που ικανοποιούν τα μοντέλα. Για παράδειγμα, μια φωτογραφία ενός panda δεν έχει αντίστοιχο στόχο και έχει περιορισμένη επεξηγηματική ισχύ.

Κατά τους Yenilmez Turkoglu & Oztekin (2016) υπάρχει πάντα ένα στοιχείο δημιουργικότητας που εμπλέκεται στο σχεδιασμό των μοντέλων. Αυτό σημαίνει ότι μια φωτογραφία ή ένα φάσμα δεν μπορεί να είναι μοντέλο, αφού δεν υπάρχουν ανεξάρτητα από τους στόχους τους, αν και βοηθούν πολύ στη λήψη πληροφοριών σχετικά με αυτούς. Επομένως, τα μοντέλα διαφέρουν σε ορισμένες πτυχές από τους στόχους τους και είναι συνήθως απλούστερες από τους στόχους που αντιπροσωπεύουν. Εάν ένα μοντέλο είναι ακριβώς όπως ο στόχος του, δεν θα είναι μοντέλο, αλλά αντίγραφο. Μοντέλα κλίμακας, όπως ένα μοντέλο σπιτιού ή ένα μοντέλο γέφυρας, που είναι τα ακριβή αντίγραφα των στόχων τους δεν θεωρούνται ως επιστημονικά μοντέλα

(Β) Τα μοντέλα έχουν κάποιον σκοπό

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των μοντέλων είναι ότι διακρίνονται από τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάζονται. Ο σκοπός των μοντέλων μπορεί να είναι η περιγραφή, η εξήγηση, η πρόβλεψη συγκεκριμένων διαδικασιών του φυσικού κόσμου. Η περιγραφή αποτελεί το πρώτο βήμα μιας διερεύνησης στην οποία αναγνωρίζονται τα βασικά μέρη ενός αντικειμένου και μπορεί να αφορά στην περιγραφή των δομικών χαρακτηριστικών του αντικειμένου ή στο πώς κάποια πράγματα συμπεριφέρονται ή λειτουργούν σε κάποιες συνθήκες (Gilbert, Boulter, & Rutherford, 2000; Oh & Oh, 2011). Ένα μοντέλο χρησιμοποιείται ως εργαλείο επεξήγησης όταν εξωτερικεύει τον μηχανισμό που διέπει την συμπεριφορά ενός αντικειμένου ή φαινομένου, δηλαδή πολύ απλά, απαντά στο ερώτημα γιατί τα αντικείμενα συμπεριφέρονται έτσι όπως συμπεριφέρονται. Με άλλα λόγια, οι περιγραφές απαντούν σε οντολογικές ερωτήσεις για το τι υπάρχει, ενώ οι εξηγήσεις είναι απαντήσεις σε αιτιακές ερωτήσεις του τύπου γιατί συμπεριφέρονται έτσι τα αντικείμενα-φαινόμενα.

Για παράδειγμα, στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 7), το μοντέλο ενός ματιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωριστούν και να περιγραφούν τα μέρη ενός ματιού. Μία αναπαράσταση στην οποία θα απεικονίζονταν η απόκτηση της σταθερής επιτάχυνσης ενός σώματος εξαιτίας της άσκησης μίας σταθερής δύναμης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μοντέλο εξήγησης (Gilbert et al., 2000).

Εικόνα 7: Μοντέλο ματιού. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τα μέρη του ανθρώπινου ματιού. Εικόνα από https://www.solutionmedical.gr/default.aspx?pageid=10289&type=product

Τέλος, ένα μοντέλο με σκοπό την πρόβλεψη μπορεί να βοηθήσει στο να απαντηθούν ερωτήσεις του τύπου «πώς θα συμπεριφερόταν το φαινόμενο κάτω από άλλες συνθήκες;», ή «πώς νομίζεις ότι θα συμπεριφερθεί το αντικείμενο όταν συμβεί αυτή η συνθήκη;» (Gilbert et al., 2000). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας το μοντέλο της πυκνότητας με τις τελίτσες οι μαθητές έχουν την δυνατότητα να προβλέψουν αν ένα σώμα θα βυθιστεί ή θα επιπλεύσει στο νερό (Εικόνα 5).

Εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες της περιγραφής, της εξήγησης και της πρόβλεψης, τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα επικοινωνίας μεταξύ των επιστημόνων, ώστε να μοιραστούν τη γνώση και την κατανόησή τους με τους συναδέλφους τους. Για παράδειγμα, το μοντέλο της εικόνας 7 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε κάποιος να δείξει σε κάποιον άλλο τα μέρη του ανθρώπινου ματιού.

Το ερώτημα που διατυπώνουν οι Oh & Oh (2011), είναι πώς τα μοντέλα επιτυγχάνουν όλους τους παραπάνω σκοπούς, της πρόβλεψης, της εξήγησης και της περιγραφής. Η απάντηση που δίνουν είναι ότι το μοντέλα μπορεί να παρέχουν μη γλωσσικές περιγραφές του στόχου που αναπαριστούν. Για χάρη απλοποίησης και απεικόνισης, τα μοντέλα συχνά χαρακτηρίζονται από την χρήση οπτικοποιημένων μέσων, όπως εικόνων, προσομοιώσεων, διαγραμμάτων, τρισδιάστατων κατασκευών ώστε να απεικονιστούν περίπλοκα φαινόμενα μη προσβάσιμα με τις ανθρώπινες αισθήσεις. Ακόμα, και τα υπολογιστικά μοντέλα παρέχουν αποτελεσματικούς τρόπους πειραματισμού σε πολύπλοκα περιβάλλοντα ή εξιδανικευμένες καταστάσεις. Συνολικά, αυτοί οι διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης, υποβοηθούν τον συλλογισμό (περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη) και διευκολύνουν την επικοινωνία παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τους στόχους που είναι απρόσιτοι ή που διαφορετικά θα απαιτούσαν πολύ περίπλοκους χειρισμούς με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου.

(Γ) πολλαπλότητα των μοντέλων

Η πολλαπλότητα ως χαρακτηριστικό των επιστημονικών μοντέλων σημαίνει ότι διαφορετικά μοντέλα μπορεί να έχουν κατασκευαστεί για τον ίδιο στόχο (π.χ. Εικόνα 3 μοντέλα του πλανητικού συστήματος). Η χρήση πολλαπλών μοντέλων για τον ίδιο στόχο συνιστά μία επιστημονική πρακτική, μιας και ακόμα και οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διάφορα μοντέλα όταν ασχολούνται με την επίλυση επιστημονικών προβλημάτων και την εξήγηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών. Πολλές φορές μάλιστα αυτό εξαρτάται από το ακαδημαϊκό υπόβαθρο του κάθε επιστήμονα. Για παράδειγμα, οι βιοχημικοί και οι θεωρητικοί χημικοί μπορεί να χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα για τη μοριακή δομή του νερού, τα οποία τονίζουν διαφορετικές όψεις αυτού. Αναλόγως, οι φυσικοί χρησιμοποιούν μοντέλα του φωτός είτε σαν σωματίδια είτε σαν κύμα, ανάλογα είτε από το φαινόμενο το οποίο θέλουν να εξηγήσουν είτε από το επίπεδο κατανόησης στο οποίο θέλουν να φτάσουν. Βέβαια, αναγνωρίζεται ότι μπορεί να συμβεί μια κατάσταση στην οποία οι επιστήμονες έχουν αποφασίσει να διεξάγουν την έρευνα τους με ένα μόνο μοντέλο. Ωστόσο, η απόφασή τους μάλλον σχετίζεται με το ερευνητικό ερώτημα και το ειδικό του πλαίσιο. Παρόλα αυτά, η ερώτηση παραμένει:

Γιατί υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα για τον ίδιο στόχο (φαινόμενο, αντικείμενο, διαδικασία, κτλ);

Οι λόγοι σύμφωνα με τους Oh & Oh (2011) είναι οι παρακάτω:

● Πρώτον, αφού ένα μοντέλο αντιπροσωπεύει έναν στόχο με έναν ειδικό τρόπο, ανάλογα με το είδος του προβλήματος ή την πρόθεση του κατασκευαστή, μπορούν να δημιουργηθούν διαφορετικά μοντέλα για να αντιπροσωπεύουν διαφορετικές πτυχές του ίδιου συστήματος (π.χ διαφορετικές πληροφορίες για το πλανητικό σύστημα, εικόνα 1).

● Δεύτερον, το γεγονός ότι ένα μοντέλο αντιπροσωπεύει μόνο επιλεγμένα χαρακτηριστικά ενός στόχου συνεπάγεται ότι ένα μοντέλο έχει πάντα περιορισμούς και έτσι απαιτούνται διάφορα μοντέλα για την παροχή μίας πλήρους εξήγησης ενός πραγματικού συστήματος. Για παράδειγμα, για να κατανοήσουμε τη δομή του σύμπαντος, βασιζόμαστε σε πολλά διαφορετικά μοντέλα που παράγονται από διαφορετικά είδη οργάνων όπως οπτικά τηλεσκόπια, ραδιοτηλεσκόπια και ανιχνευτές υπερύθρων. Σε αυτή την περίπτωση, δεν έχει σημασία αν κάθε όργανο ή όχι παρέχει την πλήρη περιγραφή του σύμπαντος, επειδή όλα τα όργανα δημιουργούν μοντέλα της πραγματικότητας, παρόλο που τα μοντέλα είναι πάντα προσεγγίσεις και κάθε μοντέλο ισχύει μόνο για συγκεκριμένο στόχο.

● Τρίτον, δύο ή περισσότερα «ανταγωνιστικά» μοντέλα μπορεί να συνυπάρχουν επειδή υπάρχουν πολλοί τρόποι εξήγησης ή αντίληψης του ίδιου στόχου στην επιστήμη. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να αντιλαμβάνεται εύκολα τον

μηχανισμό που διέπει ένα φαινόμενο με ένα μοντέλο μαθηματικής εξίσωσης, ενώ κάποιος άλλος με κινούμενη εικόνα.

● Τέταρτον, το γεγονός ότι μπορεί να υπάρξουν πολλαπλά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο απορρέει από το γεγονός ότι τα μοντέλα μπορεί να είναι αποτέλεσμα δημιουργίας πολλαπλών μορφών αναπαραστάσεων. Οι σχετικές απόψεις δεν υποστηρίζουν την πεποίθηση ότι η επιστημονική γνώση παρέχεται μόνο από μία συγκεκριμένη απεικόνιση της θεωρίας. Αντιθέτως, τυχόν σημειωτικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων τους γλωσσικούς κανόνες, τις εικόνες, τα διαγράμματα, τα γραφήματα, τα συγκεκριμένα υλικά, τα κινούμενα σχέδια, τις ενέργειες, τις χειρονομίες και τους συνδυασμούς τους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή επιστημονικών μοντέλων. Έτσι, το πεδίο εφαρμογής των μοντέλων υπερβαίνει αυτό των λεκτικών εκφράσεων ή απλών εικόνων με την έννοια ότι ένα μοντέλο μπορεί να ενσωματώσει οπτικο-χωρικές αναπαραστάσεις με λεκτικούς και άλλους σημειωτικούς τρόπους.

Συμπερασματικά, πολλά μοντέλα μπορούν να αναπτυχθούν για τη μελέτη του ίδιου συστήματος επειδή οι επιστήμονες μπορεί να έχουν διαφορετικές ιδέες για το πώς φαίνεται ο στόχος και πώς λειτουργεί. Επιπλέον, υπάρχει μια ποικιλία σημειωτικών πόρων που διατίθενται για κατασκευή μοντέλων, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην πολλαπλότητα των μοντέλων.

(Δ) αλλαγή των μοντέλων

Ένα χαρακτηριστικό της φύσης της επιστημονικής γνώσης είναι ότι αυτή συχνά μπορεί να είναι αναθεωρήσιμη, το οποίο σημαίνει ότι οι επιστημονικές ιδέες μπορούν να αλλάξουν όταν προκύψουν νέα δεδομένα, ή γιατί ένα φαινόμενο γίνεται πια αντιληπτό με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο. Ο όρος που χρησιμοποιείται είναι «μοντέλα συναίνεσης» (consensus models) και είναι αυτά τα οποία αναγνωρίζονται ως έγκυρα από διαφορετικές ομάδες μετά από πειραματισμό και εκτενή συζήτηση. Μεταξύ των μοντέλων συναίνεσης, τα «επιστημονικά μοντέλα» είναι αυτά τα οποία έχουν γίνει δεκτά από την επιστημονική κοινότητα με επιστημονικές μεθόδους. Μερικά από αυτά τα μοντέλα αντικαταστάθηκαν αργότερα από πιο εξελιγμένα μοντέλα και δημιούργησαν μία νέα κατηγορία, αυτή των ιστορικών μοντέλων (historical models). Στην πραγματικότητα, υπάρχουν πολλαπλά παραδείγματα μοντέλων σε διάφορες επιστήμες που αναπτύχθηκαν μέσα από μία διαδικασία συνεχούς κατασκευής και αξιολόγησης, όπως του μοντέλου DNA των Watson και Crick, το μοντέλο τεκτονικών πλακών στην επιστήμη της γης, το ηλιακό σύστημα στην αστρονομία, το μοντέλο του φωτός (σωματιδιακή ή κυματική φύση) κτλ. Τέτοια επιστημονικά ή ιστορικά μοντέλα καλούνται συχνά και μοντέλα αναλυτικού προγράμματος (curricular models) όταν αυτά

αναπτύσσονται από εκπαιδευτικούς ή μαθητές ώστε να γίνουν κατανοητά τα επιστημονικά, τα ιστορικά και τα μοντέλα συναίνεσης.

Κατά τους Oh & Oh (2011), υπάρχουν γενικά δύο ειδών αξιολογήσεις ώστε να θέσει κάποιος ένα μοντέλο σε δοκιμασία: η εμπειρική (empirical) και η εννοιολογική (conceptual). Κατά την εμπειρική, ένα μοντέλο αξιολογείται με βάση κατά πόσο ταιριάζει με το πραγματικό φαινόμενο. Αν αυτό που απεικονίζει ή προβλέπει ένα μοντέλο είναι συνεπές με τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω της αλληλεπίδρασης του με το φυσικό κόσμο, τότε υπάρχει καλή απόδειξη ότι το μοντέλο είναι έγκυρο μεταξύ άλλων εναλλακτικών μοντέλων. Αν δεν υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ αυτού που περιγράφεται από ένα μοντέλο και των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου στα οποία στοχεύει, τότε είναι πιθανό το μοντέλο να χρειάζεται αλλαγή. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι επιστήμονες μπορεί να αναθεωρήσουν το υπάρχον μοντέλο ώστε να ταιριάζει με τον πραγματικό κόσμο ή να εφεύρουν ένα ολοκαίνουργιο μοντέλο για να εξηγήσει την διαφορά. Το αναθεωρημένο μοντέλο με τη σειρά του δημιουργεί νέες υποθέσεις, οι οποίες οδηγούν σε νέες παρατηρήσεις και πειράματα.

Στην εννοιολογική αξιολόγηση, ένα μοντέλο αξιολογείται ανάλογα με το πόσο καλά ταιριάζει με άλλα αποδεκτά μοντέλα ή με άλλα είδη γνώσης. Για παράδειγμα, παρά τις διάφορες παρατηρήσεις, τα γεωκεντρικά μοντέλα της κίνησης των ουράνιων σωμάτων διατήρησαν το κύρος τους για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα στην ιστορία της επιστήμης. Ένας από τους λόγους για αυτό ήταν ότι τα μοντέλα ήταν σύμφωνες με τη σύγχρονη φιλοσοφία που έθεσε τη Γη όπως και τον άνθρωπο που κατοικεί σε αυτή, ως το κέντρο του σύμπαντος.

Πίνακας 1: Σύνοψη των όψεων του περιεχομένου των μοντέλων (Oh & Oh, 2011)

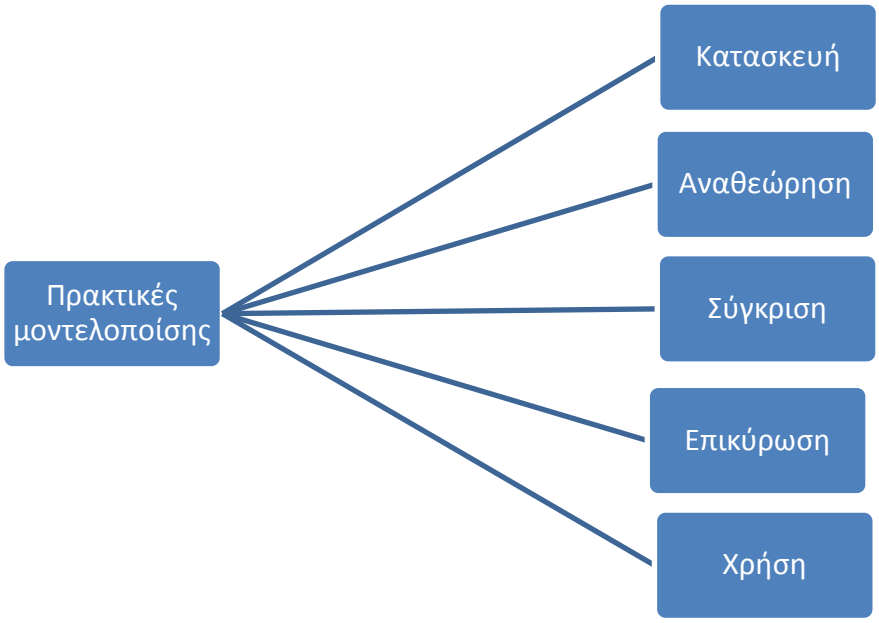
Όψη του περιεχομένου των μοντέλων	Σύνοψη της όψης
Ορισμός	● Το μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός στόχου.
Σκοπός	● Το μοντέλο έχει ρόλο την περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη φυσικών φαινομένων, αλλά και την επικοινωνία της γνώσης. ● Οι πολλαπλοί ρόλοι του μοντέλου εξασφαλίζονται με τη χρήση ποικίλλων μη γλωσσικών σημειωτικών πηγών.

Πολλαπλότητα	● Πολλαπλά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη του ίδιου στόχου επειδή οι επιστήμονες έχουν διαφορετικές αντιλήψεις για το πώς λειτουργεί ο κόσμος, αλλά και επειδή διαπιστώνεται ποικιλία σημειωτικών πηγών για την κατασκευή των μοντέλων. ● Κάθε μοντέλο έχει όρια, επειδή αναπαριστά μία συγκεκριμένη όψη ενός στόχου, και πολλαπλά μοντέλα χρειάζονται ώστε να αναπτυχθεί μία πλήρης εξήγηση για ένα φαινόμενο.
Αλλαγή	● Τα μοντέλα τίθενται σε δοκιμασία εμπειρικά και εννοιολογικά, και μπορούν να τροποποιούνται, ακολουθώντας την τροποποίηση της επιστημονικής γνώσης

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση των τεσσάρων βασικών χαρακτηριστικών των μοντέλων στον Πίνακα 1 γράφονται τα συμπεράσματα αναφορικά με τις τέσσερις όψεις (Oh & Oh, 2011). Υπενθυμίζουμε ότι στη συγκεκριμένη έρευνα έχουν βασιστεί αρκετές μεταγενέστερες, τόσο για την κατηγοριοποίηση των αντιλήψεων (βλέπε ενότητα παρακάτω), όσο και για την εννοιολόγηση του όρου «μοντέλο» (π.χ. Lee et al., 2017).

1.2 Μοντελοποίηση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο ρόλος των μοντέλων στο να μάθουν οι μαθητές την επιστήμη, για την επιστήμη και να κάνουν επιστήμη αναγνωρίζεται ως κρίσιμος. Κλειδί για την ικανοποίηση των παραπάνω στόχων αποτελεί η πράξη της μοντελοποίησης (Justi & Gilbert, 2002). Ίσως, σαν όρος, «η μοντελοποίηση» να παραπέμπει απλά και μόνο στην κατασκευή ενός μοντέλου. Ωστόσο, πρόκειται για κάτι πολύ περισσότερο. Η μοντελοποίηση ορίζεται ως η επαναληπτική διαδικασία της κατασκευής και βελτιστοποίησης των αναπαραστάσεων/μοντέλων των φυσικών φαινομένων. Αποτελεί μία περίπλοκη διαδικασία που παίζει κεντρικό ρόλο στην παραγωγή και διαμόρφωση της επιστημονικής γνώσης (Louca & Zacharia, 2015; Gilbert & Justi, 2016). Ειδικότερα, περιλαμβάνει μία σειρά από πρακτικές στις οποίες είναι σημαντικό να εμπλέκονται οι μαθητές ώστε να αναπτύξουν τον επιστημονικό γραμματισμό τους (Εικόνα 8) (Chiu & Lin, 2019; Nicolaou & Constantinou, 2014).



Εικόνα 8: Πρακτικές μοντελοποίησης

Συγκεκριμένα οι μαθητές εμπλέκονται στην διαδικασία της μοντελοποίησης όταν (Schwarz et al., 2009):

- **κατασκευάζουν** μοντέλα με βάση αποδείξεις (evidence) και θεωρίες ώστε να απεικονίσουν, να εξηγήσουν ή να προβλέψουν φαινόμενα,

- **αναθεωρούν** τα μοντέλα τους ώστε να αυξάνεται η επεξηγηματική και η προβλεπτική τους ισχύ, με βάση τα νέα δεδομένα ή τις νέες όψεις ενός φαινομένου,

- **συγκρίνουν** και **επικυρώνουν** τη δυνατότητα διαφορετικών μοντέλων να αναπαριστούν τα παρατηρούμενα μοτίβα (patterns) στα υπό μελέτη φαινόμενα και να προβλέπουν νέα φαινόμενα,

- **χρησιμοποιούν** μοντέλα ώστε να απεικονίσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν νέα φαινόμενα.

Η εμπλοκή των μαθητών στις παραπάνω πρακτικές, δημιουργεί πολλά οφέλη. Συγκεκριμένα, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να (Schwarz & White, 2005):

- εξωτερικεύσουν και να εκφράσουν την σκέψη τους για το πώς εξελίσσεται ένα επιστημονικό φαινόμενο,

- κινητοποιήσουν την δημιουργικότητά τους, ώστε να δοκιμάσουν τις ιδέες τους, το οποίο μπορεί να τους βοηθήσει να αναπτύξουν γνώση περιεχομένου,

- χειριστούν μη προσβάσιμους στόχους, π.χ. μέσω της υπολογιστικής μοντελοποίησης,

● καλλιεργήσουν την επιστημολογική ενημερότητά τους, μιας και η ίδια η επιστήμη ορίζεται ως η διαδικασία κατασκευής μοντέλων,

● βελτιώσουν την ποιότητα των επιχειρημάτων τους, όταν διατυπώνουν εξηγήσεις ή προβλέψεις για την λειτουργία του φυσικού κόσμου.

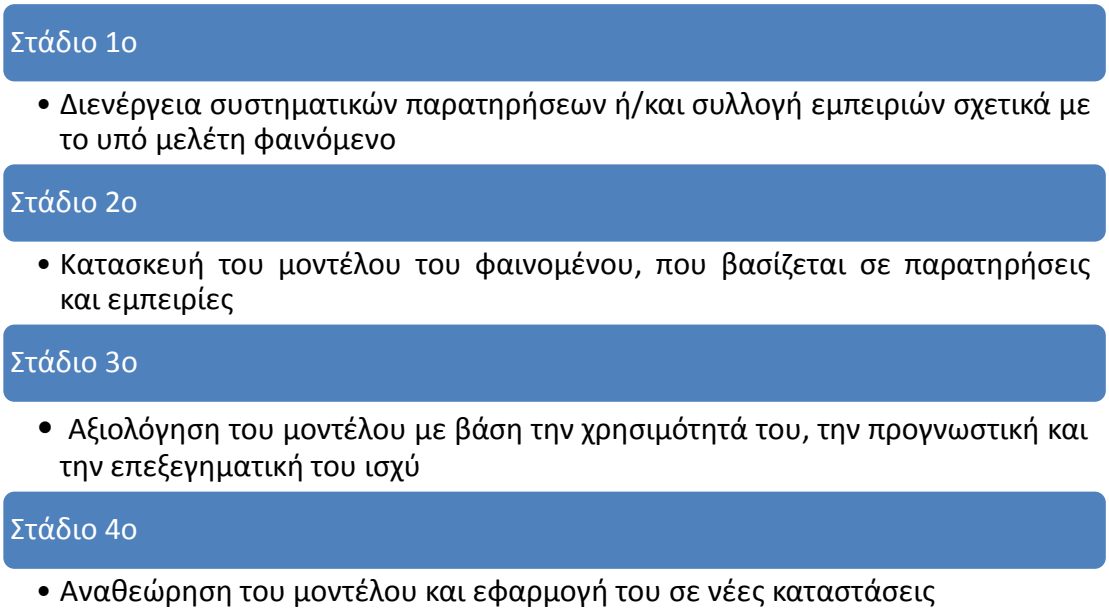
Η διαδικασία της μοντελοποίησης αποτελεί μία πολυδιάστατη διαδικασία που περιλαμβάνει μία σειρά σταδίων. Αν και μέχρι σήμερα, διαφορετικές ομάδες ερευνητών έχουν προτείνει διάφορα στάδια, διαπιστώνεται ότι οι όποιες διαφορές δεν αφορούν τα στάδια της μοντελοποίησης αυτά καθαυτά, αλλά περισσότερο το πώς αντιλαμβάνεται η κάθε ομάδα το κάθε στάδιο (Louca & Zacharia, 2012). Ειδικότερα, έχουν αναγνωριστεί τέσσερα στάδια της μοντελοποίησης (Nicolaou & Constantinou, 2014; Louca & Zacharia, 2012):

● Στάδιο 1^{ο} : Συλλογή παρατηρήσεων για το υπό μελέτη φαινόμενο

● Στάδιο 2^{ο}: κατασκευή του μοντέλου με βάση τις παρατηρήσεις

● Στάδιο 3^{ο}: Αξιολόγηση του μοντέλου

● Στάδιο 4^{ο}: Αναθεώρηση του μοντέλου (Εικόνα 9)



Εικόνα 9: Στάδια της μοντελοποίησης **(Louca & Zacharia, 2012)**

Τα στάδια αυτά έχουν ομαδοποιηθεί σε δύο ευρύτερες φάσεις: την φάση διαμόρφωσης (formulation phase), η οποία περιλαμβάνει τα δύο πρώτα στάδια, δηλαδή την διενέργεια συστηματικών παρατηρήσεων /συλλογή εμπειριών και την κατασκευή του μοντέλου, και την φάση εφαρμογής (deployment phase) η οποία περιλαμβάνει τα δύο τελευταία στάδια, δηλαδή την αξιολόγηση και την

αναθεώρηση του μοντέλου – εφαρμογή του μοντέλου σε νέες καταστάσεις (Gilbert & Justi, 2016; Louca & Zacharia, 2015; Louca & Zacharia, 2012).

Πιο αναλυτικά, κατά την φάση διαμόρφωσης οι μαθητές αναπτύσσουν ένα μοντέλο σχετικά με ένα φυσικό φαινόμενο/σύστημα. Ξεκινούν με την ανάγκη περιγραφής, πρόβλεψης και/ή εξήγησης ενός φυσικού φαινομένου, το οποίο τους οδηγεί στη συνέχεια να το ερευνήσουν, να συλλέξουν πειραματικά στοιχεία και παρατηρήσεις, καθώς και καθημερινές εμπειρίες από τον φυσικό κόσμο. Απώτερος σκοπός είναι να αναγνωρίσουν τα μέρη που αποτελούν το φυσικό φαινόμενο (φυσικά αντικείμενα, διαδικασίες και οντότητες), τις διαδικασίες που καθοδηγούν τη λειτουργία του και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων συστατικών. Αυτό το βήμα της συλλογής παρατηρήσεων και εμπειριών ακολουθείται από το βήμα της κατασκευής του μοντέλου, που περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των πληροφοριών σχετικά με τη δομή, τη συμπεριφορά και τον αιτιακό μηχανισμό του φαινομένου. Επιπλέον, οι μαθητές χρειάζεται να επινοήσουν νέες έννοιες και τα κατάλληλα συμβολικά εργαλεία που θα αναπαραστήσουν τις έννοιες αυτές προκειμένου να μεταβούν από μια απλή περιγραφή του συγκεκριμένου φαινομένου σε μια πιο δυναμική περιγραφή του υποκείμενου μηχανισμού που το προκαλεί. Κατά τη διάρκεια της φάσης διαμόρφωσης του μοντέλου οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τα δικά τους μοντέλα με το πραγματικό φυσικό φαινόμενο/σύστημα. Στη διάρκεια του κάθε κύκλου σύγκρισης οι μαθητές εξετάζουν μόνο μία πτυχή του φαινομένου / συστήματος και πόσο καλά αυτή αντιπροσωπεύεται στο μοντέλο τους. Αυτή η σύγκριση επαναλαμβάνεται αρκετές φορές, έτσι ώστε κάθε φορά που εντοπίζονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα να οδηγούν σε βελτιώσεις στο μοντέλο. Η επαναληπτική σύγκριση μεταξύ μοντέλου και φυσικού κόσμου είναι η κινητήρια δύναμη για τη δημιουργία όλο και πιο εξελιγμένων θεωριών για το φυσικό κόσμο. Τελικά, ένα μοντέλο κατασκευάζεται με βάση αυτό που οι μαθητές θεωρούν ικανοποιητικό επίπεδο σχετικά με τη σύγκριση του μοντέλου τους με το φυσικό σύστημα με προϋπόθεση το μοντέλο να αναπαριστά τις βασικές πτυχές του φαινομένου (Gilbert & Justi, 2016; Louca & Zacharia, 2015; Louca & Zacharia, 2012).

Στη συνέχεια, οι μαθητές περνούν στη δεύτερη φάση, η οποία συνίσταται στην φάση εφαρμογής του μοντέλου τους σε νέα κατάσταση. Για να γίνει αυτό, οι μαθητές πρέπει να αποπλαισιώσουν το κατασκευασμένο μοντέλο και ουσιαστικά να το αναδιατυπώσουν σε ένα νέο πλαίσιο με τρόπο που να τους επιτρέπει να διατυπώσουν υπό δοκιμασία προβλέψεις. Η εφαρμογή του μοντέλου σε νέα πλαίσια οδηγεί σε προβλέψεις των ιδιοτήτων του και της μηχανιστικής του συμπεριφοράς, τα οποία αποτελούν τα κριτήρια αξιολόγησης του μοντέλου τους. Η σύγκριση μεταξύ των πραγματικών και των προβλεπόμενων πτυχών του με το φυσικό σύστημα οδηγεί σε προσδιορισμό των ορίων του μοντέλου και επομένως σε νέα κατανόηση. Αυτό μπορεί να παρέχει ανατροφοδότηση για περαιτέρω

βελτιώσεις, οπότε μπορεί να συμβούν προσθήκες νέων φυσικών αντικειμένων, διαδικασιών ή/και οντοτήτων που αποτελούν μέρος του υπό μελέτη φυσικού συστήματος. Η χρήση και η αξιολόγηση του μοντέλου μπορεί να οδηγήσει τους μαθητές σε διάφορες πιθανές ενέργειες. Μπορεί να απορρίψουν το μοντέλο τους και να ξεκινήσουν τη διαδικασία από την αρχή ή μπορεί να αναθεωρήσουν ή να επεξεργαστούν το μοντέλο τους. Όλες οι επιλογές οδηγούν τους μαθητές στην αρχική φάση, αυτή της διαμόρφωσης. Η αναθεώρηση του μοντέλου περιλαμβάνει την τροποποίηση τμημάτων ενός υπάρχοντος μοντέλου έτσι ώστε να μπορεί να περιγράφει ή να εξηγηθεί καλύτερα μια δεδομένη κατάσταση. Οι μαθητές συνήθως περνούν από τις φάσεις διαμόρφωσης και εφαρμογής αρκετές φορές σε μια διαδικασία, σε μια βήμα προς βήμα κατασκευή του μοντέλου, μεταβαίνοντας από ένα απλό σε ένα πιο προηγμένο επίπεδο. Τα τελικά μοντέλα που θα προκύψουν (καθώς και η σύγκριση μεταξύ των αρχικών μοντέλων και των αναθεωρημένων) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών σχετικά με το φαινόμενο. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να βασίζεται σε διάφορα κριτήρια που αφορούν τα απαραίτητα στοιχεία των μοντέλων που περιλαμβάνουν την αναπαράσταση των φυσικών αντικειμένων και εννοιών και τις σχέσεις τους (Gilbert & Justi, 2016; Louca & Zacharia, 2015; Louca & Zacharia, 2012).

Στις φάσεις που περιγράφηκαν, μπορούμε να αναγνωρίσουμε όλες τις πρακτικές μοντελοποίησης που φαίνονται στην εικόνα 9. Για παράδειγμα, η πρακτική της σύγκρισης των μοντέλων εντοπίζεται στην φάση της διαμόρφωσης, όπου οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τα μοντέλα που κατασκεύασαν με τον πραγματικό στόχο. Επιπλέον, στη σχετική βιβλιογραφία, αναγνωρίζεται ένας αριθμός γνωστικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των φάσεων της μοντελοποίησης όπως η ανάλυση, ο συλλογισμός, η σύνθεση, η ποσοτικοποίηση, η εξήγηση, η επιχειρηματολογία και η αξιολόγηση. Η ανάλυση πραγματοποιείται σε όλες τις φάσεις. Για παράδειγμα, στο στάδιο της συλλογής παρατηρήσεων και εμπειριών, η ανάλυση παίρνει τη μορφή αποσύνθεσης του υπό μελέτη φαινομένου σε μικρότερα μέρη, κι επιπρόσθετα στον εντοπισμό σημαντικών στοιχείων του μοντέλου που πρέπει να περιλαμβάνονται σε αυτό. Η ανάλυση που εκτελείται σε αυτό το επίπεδο επιτρέπει στους μαθητές να αποφασίσουν τον τύπο του μοντέλου προς κατασκευή, καθώς και τον προσδιορισμό των μεταβλητών και των σχέσεων που πρέπει να εφαρμοστούν στο μοντέλο τους (Louca & Zacharia, 2015).

Από την παραπάνω περιγραφή, γίνεται φανερό ότι η μοντελοποίηση συνιστά πραγματικά μία πολύπλοκη, δυναμική, μη γραμμική και κυκλική διαδικασία. Ως εκ τούτου, κάθε στάδιο δεν ακολουθεί ένα άλλο με αυστηρή σειρά. Χαρακτηριστικά, έχει διατυπωθεί η φράση « το να κατασκευάσεις ένα μοντέλο, μοιάζει με το να ετοιμάσεις ένα κέικ χωρίς συνταγή» (Gilbert & Justi, 2016, σ. 35).

1.3 Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση στη σχολική επιστήμη

Στη διδασκαλία, τα μοντέλα είναι ισχυρά εργαλεία, τα οποία μπορούν να συμβάλουν τόσο στην γνωστική εξέλιξη όσο και στην αποτελεσματική μάθηση, αλλά και στην ανάπτυξη κριτικής σκέψης (Dalvi, Silva Mangiante, & Wendell, 2021; Saari & Viiri, 2003). Επιπλέον, τα μοντέλα έρχονται να διαδραματίσουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη διερεύνηση στη διδασκαλία, αφού υποστηρίζουν ενεργό ρόλο για τους μαθητές, οι οποίοι εξοικειώνονται με σημαντικές πτυχές της επιστημονικής μεθοδολογίας.

Ο Gilbert & Justi (2016) πρότειναν πέντε προσεγγίσεις για τη μάθηση για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση: μάθηση μοντέλων αναλυτικών προγραμμάτων (curricular models), μάθηση χρήσης μοντέλων, μάθηση αναθεώρησης μοντέλων, μάθηση επανακατασκευής μοντέλων και μάθηση κατασκευής μοντέλου de novo. Οι τρεις πρώτες προσεγγίσεις περιγράφουν μία διδασκαλία βασισμένη στα μοντέλα, κατά την οποία οι μαθητές χρησιμοποιούν υπάρχοντα μοντέλα για την εκμάθηση της επιστημονικής γνώσης. Οι δύο τελευταίες προσεγγίσεις ανήκουν στην βασισμένη στη μοντελοποίηση διδασκαλία, κατά την οποία οι μαθητές δημιουργούν ή αναδημιουργούν μοντέλα.

Στις τάξεις των ΦΕ, ο δάσκαλος μπορεί να επωφεληθεί από τη χρήση μοντέλων ώστε ο ίδιος να κάνει επίδειξη του μηχανισμού που διέπει τα φαινόμενα και να εξηγήσει στους μαθητές του αφηρημένες επιστημονικές έννοιες, όπως την πυκνότητα. Η χρήση μοντέλων από τον εκπαιδευτικό δικαιολογείται από την ιδέα ότι οι οπτικοποιημένες αναπαραστάσεις παρέχουν υποστήριξη για την οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης από τους μαθητές.

Παρά το γεγονός ότι η επίδειξη της γνώσης μέσω μοντέλων από τον εκπαιδευτικό είναι ευεργετική για τη μάθηση των μαθητών του γιατί βοηθά τον δάσκαλο να επαναδιατυπώσει τις επιστημονικές ιδέες με τρόπο πιο προσβάσιμο για τους μαθητές του, τέτοιοι τρόποι χρήσης μοντέλων που ξεκινούν από τους δασκάλους είναι περιοριστικοί, αν ληφθεί υπόψη η δυναμική φύση των μοντέλων και της διαδικασίας της μοντελοποίησης (Oh & Oh, 2011). Η χρήση των μοντέλων στα πλαίσια της σχολικής επιστήμης θα πρέπει να υπερβαίνει το συμβατικό τρόπο, ο οποίος συχνά εστιάζει στη μετάδοση του γνωστικού περιεχομένου επιστημονικά αποδεκτών μοντέλων. Επιπλέον, δύσκολα αναμένεται ότι οι δάσκαλοι θα χρησιμοποιήσουν μοντέλα σε διερευνητικές μαθησιακές δραστηριότητες για τους μαθητές εάν εστιάζουν μόνο στον επικοινωνιακό ρόλο των μοντέλων, αναγνωρίζοντας σπάνια ότι τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή υποθέσεων ή προβλέψεων, ή ότι παρέχουν ανατροφοδότηση για τη βελτίωση των θεωριών και τη δημιουργία νέων ερωτημάτων προς διερεύνηση (Oh

& Oh, 2011). Για αυτό και οι εκπαιδευτικοί όταν διδάσκουν ΦΕ, είναι σημαντικό να κατανοήσουν τη φύση των μοντέλων και της μοντελοποίησης και να μεταλαμπαδεύσουν αυτή τους την κατανόηση στην διδασκαλία.

Ως εκ τούτου, στη βιβλιογραφία προτείνεται ότι είναι παιδαγωγικά ωφέλιμο, τα υποκείμενα της μάθησης (learners) να εμπλακούν στην κατασκευή των μοντέλων, παρά αυτά να παρέχονται από την κάθε αυθεντία. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές κατά την κατασκευή των δικών τους μοντέλων, επεξεργάζονται την δική τους κατανόηση για το πώς εξελίσσεται ένα επιστημονικό φαινόμενο. Επιπλέον, η διαδικασία της αναθεώρησης των μοντέλων που κατασκεύασαν τα ίδια υποκείμενα της μάθησης για να διευκολύνουν τη κατανόησή τους από τους ίδιους, είναι πιο αποτελεσματική στο να εκτιμήσουν την ανάγκη να αξιολογήσουν τα μοντέλα τους και να τα βελτιώσουν λόγω νέων δεδομένων (Schwartz et al., 2009).

Ωστόσο, σε ένα παραδοσιακό συντηρητικό πλαίσιο διδασκαλίας, οι μαθητές χρησιμοποιούν μοντέλα χωρίς να κατανοούν ότι αυτά είναι εργαλεία που μπορούν να τους βοηθήσουν να προβλέψουν και να εξηγήσουν τα φαινόμενα, επειδή συνήθως δεν υπάρχει συζήτηση στην τάξη για τη λειτουργία τους (Grosslight et al., 1991). Επιπλέον, παρά τη σημασία τους στην ανάπτυξη δεξιοτήτων πρόβλεψης, εξήγησης και αξιολόγησης των εξηγήσεων των φαινομένων του φυσικού κόσμου, τα μοντέλα και η μοντελοποίηση σπάνια ενσωματώνονται σε εκπαιδευτικές εμπειρίες μαθητών πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Schwartz et al., 2005). Συγκεκριμένα, η χρήση των μοντέλων περιορίζεται από τους εκπαιδευτικούς για σκοπούς επίδειξης ή ως βασικό μέσο διάλεξης για τη διδασκαλία συγκεκριμένου περιεχομένου (Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017; Daly & Bryan, 2010). Χαρακτηριστικά, στη σχετική βιβλιογραφία, καταγράφεται ότι στα πλαίσια διερευνητικών και εποικοδομητικών περιβαλλόντων μάθησης, εκπαιδευτικοί και μαθητές μπορεί να εμπλέκονται στη δημιουργία μοντέλων, αλλά η γνώση για τη φύση και το σκοπό που αυτά χρησιμοποιούνται, αλλά και για τη δυνατότητα και για τις αιτίες που τα μοντέλα αναθεωρούνται όταν προκύψουν νέα δεδομένα, εμπειρικά ή πειραματικά, είναι περιορισμένη (Schwartz et al., 2005; Van Driel et al., 1999). Επιπρόσθετα, οι εκπαιδευτικοί, παρά το γεγονός ότι εκτιμούν την αξία των μοντέλων σαν σημαντικές τεχνικές μάθησης, δεν επικεντρώνονται στην αξία τους να χρησιμοποιηθούν, ως μέσα για να κατανοήσουν οι μαθητές διαστάσεις της φύσης της επιστήμης (Van Driel & Overloop, 2002). Για παράδειγμα, δε τονίζεται ότι η κατασκευή μοντέλων αποτελεί μία από τις επιδιώξεις των επιστημόνων, ώστε συλλάβουν και να κατανοήσουν μία επιστημονική θεωρία, αλλά και ως μέσο, για να επικοινωνήσουν και να συμφωνήσουν μεταξύ τους μετά από αναθεώρηση τους (Χαλκιά, 2010; Van driel & Overloop, 2002).

1.4 Κατηγοριοποιήσεις των μοντέλων

Υπάρχουν διάφορες κατηγοριοποιήσεις μοντέλων, που βασίζονται σε διάφορα κριτήρια, όπως κατηγοριοποίηση ως προς τη φύση τους, π.χ. νοητικά μοντέλα, εκφρασμένα μοντέλα, ιστορικά μοντέλα, μοντέλα συναίνεσης (Gilbert et al., 2000), ως προς τον τρόπο που γίνονται αντιληπτά π.χ. μοντέλα με την μορφή διαγραμμάτων, εικόνων (Gilbert, 1991), ως προς την λειτουργία τους, π.χ. επεξηγηματικά μοντέλα, περιγραφικά μοντέλα, προβλεπτικά μοντέλα (Van Driel & Verloop, 2002), ως προς τα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει μία αναπαράσταση, π.χ. αναπαράσταση με την μορφή του λεκτικού κανόνα, μίας μαθηματικής εξίσωσης κτλ. (Gilbert et al., 2000). Στην ενότητα αυτή θα επικεντρωθούμε στην ταξινόμηση των διαφορετικών τύπων μοντέλων με βάση τα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει μία αναπαράσταση. Ο λόγος είναι ότι στα διάφορα ερωτηματολόγια ανάδειξης των αντιλήψεων μαθητών/φοιτητών/ εν ενεργεία εκπαιδευτικών, χρησιμοποιήθηκαν έργα που βασίζονται σε αυτήν ακριβώς την κατηγοριοποίηση.

Τα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά λοιπόν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση διαφορετικών τύπων μοντέλων (Lee et al., 2017). Για παράδειγμα, οι Boulter και Buckley (2000) όρισαν τρεις διαφορετικούς τύπους μοντέλων, τα χειροπιαστά (concrete), τα συμβολικά και τα μοντέλα με βάση τη χρήση χειρονομιών. Τα συμβολικά μοντέλα μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε λεκτικά, οπτικά και μαθηματικά μοντέλα ανάλογα με τους τρόπους αναπαράστασής τους. Σε ένα πιο λεπτομερές επίπεδο, τα χαρακτηριστικά των αναπαραστάσεων μπορούν περαιτέρω να προσδιοριστούν ως στατικά ή δυναμικά ανάλογα αν περιλαμβάνουν κάποια κίνηση κατά την αναπαράσταση ή όχι. Αυτού του είδους η κατηγοριοποίηση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2), στον οποίο γράφονται και σχετικά παραδείγματα για χάρη αποσαφήνισης (Boulter & Buckley, 2000).

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση που περιγράφεται στον Πίνακα 2, τα μοντέλα καταρχάς διακρίνονται σε δύο ευρείες κατηγορίες με βάση το εξής κριτήριο: εάν στον στόχο που αναπαριστούν περιλαμβάνεται κάποιου είδους κίνηση ή όχι. Με τον τρόπο αυτό διακρίνονται σε στατικά και σε δυναμικά. Από εκεί και πέρα τόσο τα στατικά όσο και τα δυναμικά διακρίνονται σε άλλες πιο συγκεκριμένες κατηγορίες:

- Τα χειροπιαστά μοντέλα: πρόκειται για μοντέλα τριών διαστάσεων που είναι κατασκευασμένα από πραγματικά υλικά, π.χ. μία ξύλινη κατασκευή που απεικονίζει τις μικροσκοπικές ανωμαλίες του εδάφους.

- Τα οπτικά μοντέλα: περιλαμβάνουν αναπαραστάσεις με την χρήση εικόνων, σκίτσων, φωτογραφιών, διαγραμμάτων, πινάκων και γραφημάτων.

● Τα προφορικά μοντέλα: Πρόκειται για λεκτικούς κανόνες για την περιγραφή των οντοτήτων που συμμετέχουν σε ένα φαινόμενο και τις αλληλεπιδράσεις τους, π.χ. την περιγραφή του ρόλου της πυκνότητας στην ερμηνεία της πλεύσης-βύθισης ενός σώματος. Στα προφορικά μοντέλα περιλαμβάνονται επίσης οι μεταφορές και οι αναλογίες.

● Τα μαθηματικά μοντέλα: Σε αυτά περιλαμβάνονται μαθηματικές εξισώσεις και συμβολικοί τύποι.

● Οι χειρονομίες: Χρησιμοποιούνται χέρια ή κινήσεις του σώματος ώστε να περιγραφεί ένα φαινόμενο.

Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση των μοντέλων με βάση τα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά

	Χειροπιαστά (concrete)	Οπτικά (visual)	Προφορικά	Μαθηματικά	Χειρονομίες
Στατικά	Μηχανικό μοντέλο με απτά υλικά, π.χ. μοντέλο πλανητικού συστήματος με χρωματιστές μπάλες	Σκίτσα, γραφικές παραστάσεις π.χ. σκίτσο πλανητικού συστήματος	Λεκτικός κανόνας (π.χ. *τα πυκνότερα υλικά βυθίζονται σε αραιότερα*.)	Μαθηματική Εξίσωση π.χ. $F=m \cdot \alpha$	Χρήση χεριών, π.χ. κανόνας τριών δακτύλων για την εύρεση της φοράς της έντασης του μαγνητικού πεδίου ρευματοφόρων αγωγών
Δυναμικά	Μοντέλο που περιλαμβάνει κίνηση, π.χ. υδρόγειος σφαίρα	Κινούμενη εικόνα, π.χ. βίντεο που απεικονίζει ένα φαινόμενο (π.χ. έκλειψη)		Μαθηματική προσομοίωση π.χ. της τροχιάς ενός πλανήτη	Χρήση χεριών για την αναπαράσταση μίας κίνησης, π.χ. της πορείας μιας ακτίνας φωτός

Γενικά, ένα μοντέλο μπορεί να ανήκει σε περισσότερες από μία κατηγορίες και να εμφανίζεται σε διαφορετικές μορφές, π.χ. στατικό χειροπιαστό ή δυναμικό με χειρονομίες. Το ποιος από τους παραπάνω τρόπους αναπαράστασης θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως: την φύση των οντοτήτων που πρόκειται να μοντελοποιηθούν (π.χ. στατικές ή δυναμικές), τον στοχούμενο πληθυσμό στον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο είτε για επικοινωνία της γνώσης είτε για την ανάπτυξη της κατανόησης, τον σκοπό του μοντέλου (π.χ. για την αναπαράσταση εξελισσόμενων διαδικασιών μπορεί να προτιμηθεί ο δυναμικός τρόπος απεικόνισης, λειτουργίας) κτλ. Ταυτόχρονα ή μετά την επιλογή του τρόπου αναπαράστασης, ο κατασκευαστής του μοντέλου καθορίζει

με σαφήνεια και τα στοιχεία στα οποία θα επικεντρωθεί το μοντέλο. Για παράδειγμα, σε ένα μοντέλο με μπάλες και ξυλάκια μιας χημικής ουσίας, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι οι μπάλες αντιπροσωπεύουν τα άτομα που συγκροτούν το μόριο, τα ξύλινα ραβδάκια αντιπροσωπεύουν τους δεσμούς μεταξύ των ατόμων και ότι τα διαφορετικά χρώματα για τις μπάλες αντιπροσωπεύουν διαφορετικά χημικά στοιχεία (Gilbert & Justi, 2016; Χαλκιά, 2012).

1.5 Αντιλήψεις για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση

Η μελέτη των αντιλήψεων για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση σχετίζεται με τις αντιλήψεις σχετικά με (α) τη φύση των μοντέλων, (β) τη φύση ή την διαδικασία μοντελοποίησης, (γ) την αξιολόγηση και αναθεώρηση των μοντέλων και (δ) τον σκοπό των μοντέλων. Η όψη της φύσης των μοντέλων σχετίζεται με την αναγνώριση των διαφορετικών τύπων μοντέλων και των ιδιοτήτων τους, το περιεχόμενο του μοντέλου, τι είναι αυτό που το μοντέλο αντιπροσωπεύει και τα πλεονεκτήματα διαφορετικών τύπων μοντέλων. Η φύση ή η διαδικασία της μοντελοποίησης επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την κατασκευή μοντέλων και στην μεταβαλλόμενη φύση ενός μοντέλου. Η όψη της αξιολόγησης και της αναθεώρησης των μοντέλων, αναφέρεται στα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός μοντέλου, την αξιοποίηση αποδεικτικών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην αναθεώρηση του μοντέλου αλλά και στην αξιολόγηση με κριτήριο κατά πόσο ένα μοντέλο εξυπηρετεί ή όχι τον σκοπό του. Αναφορικά με την τελευταία όψη που αφορά τον σκοπό των μοντέλων, οι ερευνητές έχουν δώσει έμφαση στους διαφορετικούς σκοπούς των μοντέλων (π.χ. επικοινωνία, πρόβλεψη, εξήγηση, έλεγχος υποθέσεων κ.λπ.), τη χρησιμότητα τους τόσο για μαθησιακές όσο και για επιστημονικές εργασίες, καθώς και για την αξία της χρήσης πολλαπλών μοντέλων (Κουκιόγλου & Ψύλλος, 2020; Lee, Chang, & Wu, 2017; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017; Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016; Πετρίδου & Ψύλλος, 2008; Windschitl & Thompson, 2006; Crawford & Cullin, 2004; Justi & Gilbert, 2002; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002; Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991).

Από τις πρώτες σχετικές έρευνες, η Grosslight και οι συνεργάτες της (1991), διενέργησαν συνεντεύξεις ώστε να σκιαγραφήσουν τις ιδέες μαθητών β/θμιας εκπαίδευσης για τις προαναφερθείσες όψεις των μοντέλων. Οι συνεντεύξεις περιστρέφονταν από ερωτήσεις του τύπου «Τι σας έρχεται στο μυαλό όταν ακούτε τη λέξη «μοντέλο»;, «Τι θα πρέπει να σκεφτείτε προκειμένου να κατασκευάσετε ένα μοντέλο»;, «Πιστεύετε ότι οι επιστήμονες θα είχαν ποτέ περισσότερα από ένα μοντέλα για τον ίδιο στόχο»; Επιπλέον, συγκεκριμένα παραδείγματα μοντέλων (π.χ. ένα αεροπλάνο παιχνίδι και ένας χάρτης του μετρό) δόθηκαν στους μαθητές, οι οποίοι ρωτήθηκαν αν θεωρούν ότι ήταν μοντέλα. Το υπόλοιπο μέρος της συνέντευξης περιελάμβανε γενικές ερωτήσεις σχετικά με τον σχεδιασμό μοντέλων

την χρήση πολλαπλών μοντέλων και την αλλαγή μοντέλων στην επιστήμη. Η συγκεκριμένη έρευνα θεωρείται θεμελιώδης αναφορικά με την κατανόηση των μαθητών για τα μοντέλα και την χρησιμότητά τους στην επιστήμη μιας και επηρέασε σημαντικά τις μεταγενέστερες αναφορικά με τον σχεδιασμό των ερευνητικών εργαλείων και την διαμόρφωση των επιπέδων κατανόησης (Lee, Chang, & Wu, 2017; Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014).

Οι ερευνητές κατέληξαν σε τρία επίπεδα αντιλήψεων των μαθητών για τα μοντέλα και την χρησιμότητά τους στην επιστήμη. Στο πρώτο επίπεδο ταξινομήθηκαν αντιλήψεις που θέλουν τα μοντέλα να είναι είτε παιχνίδια (π.χ. μοντέλο αεροπλάνου), είτε απλές αντιγραφές της πραγματικότητας. Σε αυτό το επίπεδο, τα μοντέλα είναι χρήσιμα επειδή μπορούν να παρέχουν αντίγραφα του πραγματικού αντικειμένου. Επιπλέον, αν και οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι κάποιες πλευρές του πραγματικού αντικειμένου μένουν έξω από το μοντέλο, θεωρούν ότι ο μόνος λόγος που έγινε αυτό ήταν γιατί έτσι ήθελε ο κατασκευαστής του. Στις αντιλήψεις του δευτέρου επιπέδου, αναγνωρίζεται ο σκοπός για τον οποίο έχει κατασκευαστεί ένα μοντέλο. Οι σκέψεις του κατασκευαστή του μοντέλου αρχίζουν να παίζουν ρόλο, και οι μαθητές γνωρίζουν ότι ο κατασκευαστής παίρνει συνειδητές αποφάσεις για το πώς να επιτύχει το σκοπό του μέσω του μοντέλου. Πλέον το μοντέλο δεν είναι απαραίτητο να αντιστοιχεί ακριβώς με το πραγματικό αντικείμενο, αλλά μέσα από την διαδικασία της απλοποίησης, το μοντέλο επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες όψεις, και μπορεί να διαφέρει από αυτό (το πραγματικό αντικείμενο). Ωστόσο, το κύριο μέλημα εξακολουθεί να είναι στο μοντέλο και στη πραγματικότητα που μοντελοποιείται, και όχι στις ιδέες που αναδύονται. Ακόμα, η δοκιμασία των μοντέλων δε θεωρείται σαν δοκιμασία των ιδεών που κρύβονται από πίσω, αλλά συνδέεται με τη λειτουργικότητα του μοντέλου αυτού καθ' αυτού. Το τρίτο και τελευταίο επίπεδο χαρακτηρίζεται από τους παρακάτω παράγοντες: πρώτον, το μοντέλο πλέον κατασκευάζεται ώστε να αναπτύξει και να δοκιμάσει τις ιδέες κάποιου παρά να είναι ένα αντίγραφο της ίδιας της πραγματικότητας. Δεύτερον, ο κατασκευαστής διαδραματίζει ενεργό ρόλο στην κατασκευή του μοντέλου, αξιολογώντας ποια από τα διάφορα σχέδια (μοντέλα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπηρετήσουν το σκοπό του μοντέλου. Τρίτον, τα μοντέλα υπόκεινται σε δοκιμασίες όταν προκύψουν νέα δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό, παρέχουν πληροφορίες μέσα σε μία κυκλική κατασκευαστική διαδικασία. Βασισμένοι σε αυτά τα επίπεδα, οι ερευνητές κατέληξαν ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων μαθητών της β/θμιας εκπαίδευσης (67%) ταξινομήθηκε στο πρώτο επίπεδο, ενώ κανείς δεν αναγνωρίστηκε στο τρίτο επίπεδο. Επιπλέον, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων αναφέρθηκε σε μοντέλα κλίμακας υλικής υπόστασης (π.χ. μοντέλα αεροπλάνων), ενώ λιγότεροι αναφέρθηκαν σε δισδιάστατα μοντέλα, όπως τα σκίτσα και οι χάρτες (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991).

Σε ανάλογη έρευνα, στην οποία συμμετείχαν 228 μαθητές β/θμιας εκπαίδευσης, ο Treagust και οι συνεργάτες του (2002) χρησιμοποίησαν ερωτηματολόγιο πολλαπλής επιλογής 27 έργων τύπου Likert, στο οποίο οι μαθητές έπρεπε να επιλέξουν μία από τις απαντήσεις που κυμαίνονταν από «το συμφωνώ πολύ» μέχρι το «διαφωνώ πολύ». Τα έργα ομαδοποιήθηκαν σε πέντε όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης: (α) την πολλαπλότητα των μοντέλων, (β) τα μοντέλα ως πιστές αναπαραστάσεις στόχων, (γ) τα μοντέλα ως επεξηγηματικά εργαλεία, (δ) τη χρήση των μοντέλων και (ε) την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων. Το συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο είτε αυτούσιο είτε με τροποποιήσεις έχει χρησιμοποιηθεί σε έναν σημαντικό εμπειρικών ερευνών που αποσκοπούν στην ανάδειξη των αντιλήψεων περί μοντέλων και μοντελοποίησης (Lazenby & Becker, 2021). Σύμφωνα με τα ευρήματα της συγκεκριμένης έρευνας, η πλειοψηφία των μαθητών αντιλαμβάνονταν τα μοντέλα ως πιστά αντίγραφα της πραγματικότητας, και ως εκ τούτου πρέπει να μοιάζουν με το πραγματικό αντικείμενο όσο το δυνατό περισσότερο, ώστε να παρέχουν το σχήμα του με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό που μπορεί να διαφέρει είναι το μέγεθος, όπως π.χ. τα μοντέλα κλίμακας (ένα μοντέλο αυτιού ή η υδρόγειος σφαίρα). Λίγοι μαθητές, αναγνώρισαν ότι ακόμα και όταν ένα μοντέλο δεν έχει πολλές ομοιότητες με τον στόχο που αναπαριστά, μπορεί να περιγράφει επαρκώς τον μηχανισμό ενός φαινομένου. Ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα, οι ερευνητές απέδωσαν αυτές τις αντιλήψεις στην καθημερινή εμπειρία των μαθητών με τα μοντέλα, αναγνωρίζοντας ότι οι εμπειρίες των μαθητών σχετίζονται περισσότερο με τα μοντέλα κλίμακας φυσικών αντικειμένων, παρά με μοντέλα που αναπαριστούν αφηρημένες έννοιες. Αναφορικα με την χρήση των μοντέλων, αναγνωρίστηκε από τους συμμετέχοντες μαθητές η περιγραφική ισχύς των μοντέλων η οποία επιτυγχάνεται επειδή τα μοντέλα αποτελούν μέσα οπτικοποίησης στόχων. Ωστόσο, διαπιστώθηκε δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν την δυνατότητα που προσφέρουν τα μοντέλα σχετικά με την πρόβλεψη ενός φαινομένου, τον έλεγχο των υποθέσεων και την παραγωγή θεωρίας.

Σε μία πιο προόσφη έρευνα, οι Lee, Chang, & Wu (2017) μελέτησαν τις αντιλήψεις 209 μαθητών β/θμιας εκπαίδευσης για τα μοντέλα, και ποιες διαφορές μπορούν να εντοπιστούν ανάμεσα σε αυτές που κατέχουν οι μαθητές γυμνασίου με αυτές των μαθητών λυκείου. Οι ερευνητές σχεδίασαν ένα ερωτηματολόγιο που στόχευε στην ανάδειξη αντιλήψεων σχετικά με τη φύση των μοντέλων και της μοντελοποίησης, αλλά και τον σκοπό των μοντέλων. Η επιλογή των μοντέλων βασίστηκε στα έξι αναπαραστατικά χαρακτηριστικά: μοντέλο με την μορφή κειμένου, σχήματος (γράφημα, πίνακας, σκίτσα), μοντέλα δύο και τριών διαστάσεων, στατικά και δυναμικά μοντέλα. Το πρώτο σύνολο ερωτήσεων αφορούσε την διερεύνηση της φύσης της πτυχής του μοντέλου, ιδιαίτερα σε σχέση με την αναγνώριση του μοντέλου. Π.χ. Οι μαθητές ρωτήθηκαν «Είναι αυτό μοντέλο;» Όσον αφορά τη φύση

της μοντελοποίησης, η ανάδειξη των αντιλήψεων περιορίστηκε στο ερώτημα «Ποιες πληροφορίες πρέπει να περιλαμβάνονται στο μοντέλο;» Τέλος αναφορικά με τους σκοπούς των μοντέλων οι μαθητές ρωτήθηκαν για τη «χρησιμότητα των μοντέλων στην επιστημονική έρευνα», τη «χρησιμότητα των μοντέλων στη μάθηση» και τη «χρησιμότητα των πολλαπλών αναπαραστάσεων των μοντέλων». Αναφορικά με το αν οι μαθητές αναγνωρίζουν κάτι ως μοντέλο, τα ευρήματα έδειξαν ότι τόσο οι μαθητές της κατώτερης όσο και της ανώτερης δευτεροβάθμιας θεωρούν μοντέλο οτιδήποτε αναπαριστά ένα αντικείμενο (π.χ. φυτικό κύτταρο) ή μία εξελισσόμενη διαδικασία είτε σε στατική μορφή (π.χ.απεικόνιση της ροής ενέργειας σε ένα οικοσύστημα), είτε σε δυναμική μορφή (π.χ. δυναμική αναπαράσταση της διαδικασίας της αναπνοής). Επιπλέον, δυσκολίες παρατηρήθηκαν στα δύο γκρούπ στο να αναγνωρίσουν ένα κείμενο που περιέγραφε την διαδικασία της φωτοσύνθεσης ως μοντέλο. Αναφορικά με την επιχειρηματολογία που ανέπτυξαν οι μαθητές, αυτή αφορούσε τους σκοπούς των μοντέλων (π.χ αυτό είναι ένα μοντέλο επειδή εξηγεί ένα φυσικό φαινόμενο), την γωστική πλευρά (π.χ, είναι μοντέλο γιατί είναι με αυτό είναι πιο εύκολο να το κατανοήσεις), τον στόχο στον οποίο το μοντέλο επικεντρώνεται (π.χ. η δυναμική αναπαράσταση της καρδιάς είναι μοντέλο επειδή βασίζεται στην εμφάνιση της καρδιάς), αλλά και τα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά (π.χ. είναι μοντέλο επειδή είναι τρισδιάστατο). Βασισμένοι σε αυτην την επιχειρηματολογία, οι μαθητές δικαιολόγησαν γιατί κάποια αναπαράσταση δεν είναι μοντέλο. Π.χ το κείμενο που περιγράφει το μοντέλο δεν είναι μοντέλο γιατί δεν είναι τριών διαστάσεων αναπαράσταση. Οι ερευνητές συμπεραίνουν ότι αυτή η επικέντρωση των αντιλήψεων ότι τα μοντέλα πρέπει να είναι τριών διαστάσεων αντανακλά τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών ότι τα μοντέλα πρέπει να μοιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο με τον στόχο που αναπαριστούν. Αναφορικά με τη μοντελοποίηση, οι μαθητές θεώρησαν ότι για την κατασκευή ενός μοντέλου, πρέπει να ληφθούν υπόψην τρεις παράγοντες: (α) ένα μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερες λεπτομέρειες, (β) πρέπει να περιλαμβάνει μόνο τα βασικά μέρη και (γ) πρέπει να περιλαμβάνει όσα σχετίζονται με τους σκοπούς μοντελοποίησης των επιστημόνων. Από τους παράγοντες αυτούς, τις λιγότερες επιλογές συγκέντρωσε η επιλογή (γ) και για τα δύο γκρουπ μαθητών. Το εύρημα αυτό, σύμφωνα με τους ερευνητές θα μπορούσε να αποτελέσει μία ένδειξη ότι οι μαθητές της β/θμιας δεν αντιλαμβάνονται τις αποφάσεις σχετικά με τη συμπερίληψη ή τη μείωση λεπτομερειών κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στην έλλειψη εμπειρίας στη μοντελοποίηση. Τέλος, αναφορικά με τους σκοπούς των μοντέλων, καταρχάς τα ευρήματα έδειξαν ότι οι μαθητές θεωρούν τα τρισδιάστατα δυναμικά μοντέλα καταλληλότερα για επιστημονική έρευνα σε σχέση με τα δισδιάστατα στατικά επειδή παρέχουν πιο ρεαλιστικές μορφές της πραγματικότητας. Επιπλέον, ενώ περισσότερο από το μισό των μαθητών γυμνασίου θεώρησαν ότι τα πολλαπλά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο δεν έχουν συμπληρωματικό ρόλο, οι μαθητές

λυκείου θεώρησαν το αντίθετο, ότι δηλαδή το ένα μοντέλο συμπληρώνει το άλλο ως προς τις πληροφορίες που το καθένα παρέχει. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας με ανάλογες προγενέστερες, οι ερευνητές σημειώνουν ότι κατέληξαν σε ανάλογα ευρήματα με αυτά της Grosslight και των συνεργατών της, ενώ ανάλογα αποτελέσματα βρέθηκαν και σε άλλες έρευνες, δείχνοντας ότι οι μαθητές κατέχουν περιορισμένη κατανόηση για τα μοντέλα και τον ρόλο τους στις επιστημολογικές διαδικασίες.

Στην Ελληνική βιβλιογραφία, οι Πετρίδου και Ψύλλος (2008) λαμβάνοντας υπόψη προγενέστερες έρευνες (από Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Windschitl & Thompson, 2006), επιχείρησαν με ένα ερωτηματολόγιο να αναδείξουν τις αντιλήψεις 75 φοιτητών Παιδαγωγικού Τμήματος. Το ερωτηματολόγιο περιελάμβανε ανοιχτού τύπου ερωτήσεις, όπως τι είναι μοντέλο (φύση), πώς χρησιμοποιείται ένα μοντέλο (λειτουργία), και αν και για ποιο λόγο οι επιστήμονες αλλάζουν τα μοντέλα τους (αλλαγή των μοντέλων). Οι ερευνητές συνέθεσαν ένα πλαίσιο με τρία επίπεδα για την ταξινόμηση των αντιλήψεων, το οποίο περιελάμβανε τρία επίπεδα κατανόησης, ξεχωριστά για την φύση, την λειτουργία και την αλλαγή των μοντέλων. Πιο αναλυτικά (Πετρίδου & Ψύλλος, 2008):

● Αναφορικά με την φύση του μοντέλου

Στο επίπεδο 3 ταξινομήθηκαν αντιλήψεις σύμφωνα με τις οποίες το μοντέλο είναι αναπαράσταση ιδεών ή θεωριών, κι επιπλέον αποτελεί εργαλείο για τον έλεγχο των υποθέσεων. Στο επίπεδο 2, το μοντέλο θεωρείται αναπαράσταση ενός φαινομένου ή διαδικασίας ή εργαλείο για την κατανόηση των φαινομένων. Τέλος, οι αντιλήψεις του επιπέδου 1 σχετίζονται με την θεώρηση του μοντέλου ως πιστή αναπαράσταση στόχων ή ότι είναι τα βήματα ενός ερευνητή, μία μέθοδος διδασκαλίας, ή ένα πρότυπο διαδικασίας.

● Αναφορικά με την λειτουργία του μοντέλου

Στο επίπεδο 3 εντοπίστηκαν αντιλήψεις σύμφωνα με τις οποίες το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εξήγηση όσο και για πρόβλεψη, για την απόκτηση πληροφοριών που δεν είναι ορατά απευθείας σε ένα φαινόμενο. Το μοντέλο αντιμετωπίζεται ως κίνητρο σκέψης και διατύπωσης υποθέσεων και ως εργαλείο για την εποικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης. Στο επίπεδο 2, οι φοιτητές θεωρούν ότι το μοντέλο χρησιμοποιείται για την εξήγηση ενός φαινομένου ή για διδακτικούς λόγους προκειμένου ο δάσκαλος να εξηγήσει κάτι στους μαθητές του. Τέλος, στο επίπεδο 1 των αντιλήψεων το μοντέλο εκλαμβάνεται ως μέσο για την απλοποίηση, την παρουσίαση, ή την διευκρίνιση του υπό μελέτη θέματος.

● Αναφορικά με την αλλαγή των μοντέλων

Στο επίπεδο 3 οι φοιτητές θεωρούν ότι το μοντέλο αλλάζει όταν η συμπεριφορά του δεν συμφωνεί με την παρατήρηση του φαινομένου. Επιπλέον, ένας επιστήμονας αλλάζει το μοντέλο προκειμένου να τον βοηθήσει να προχωρήσει την έρευνά του. Στο επίπεδο 2 ταξινομήθηκαν οι αντιλήψεις σύμφωνα με τις οποίες αναγνωρίζεται ότι ένα μοντέλο αλλάζει όταν υπάρχουν νέα ερευνητικά δεδομένα ή όταν δεν συμπεριφέρεται όπως θα ήθελε ο κατασκευαστής του. Τέλος στο επίπεδο 1 ταξινομήθηκαν όσες αντιλήψεις απέρριπταν την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας έδειξαν αναφορικά με την φύση των μοντέλων, ότι το 72% των συμμετεχόντων (75 φοιτητές) ταξινομήθηκε στο επίπεδο 1, αφού διατύπωσαν απόψεις μακριά από την επιστημονική άποψη. Όσο αφορά τις αντιλήψεις σχετικά με τη λειτουργία των μοντέλων, η πλειοψηφία ταξινομήθηκε στο επίπεδο 1 (58,6% των συμμετεχόντων), ενώ όσο αφορά την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων, οι απαντήσεις της πλειοψηφία των φοιτητών ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 2. Επιπλέον, σύμφωνα με τα ευρήματα, διαπιστώθηκε απουσία αναφοράς των συμμετεχόντων στην προβλεπτική λειτουργία των μοντέλων, το οποίο αποτελεί κοινό εύρημα σε σχετικές έρευνες π.χ. Windschitl & Thompson (2006). Οι ερευνητές συμπέραναν ότι οι συμμετέχοντες εξέφρασαν ιδέες που αποκλίνουν από τις επιστημονικές περισσότερο στις διαστάσεις της φύσης και της λειτουργίας των μοντέλων, εμφανίζοντας καλύτερη εικόνα σε αυτή της αλλαγής.

Σε μία άλλη έρευνα στην οποία συμμετείχαν πέντε φοιτητές της σχολής Δημοτικής εκπαίδευσης, πέντε φοιτητές της σχολής Νηπιαγωγών και πέντε της σχολής Φυσικού, αναγνωρίστηκαν, μέσω συνέντευξης, μερικοί από τους παράγοντες που μπορούν να διαμορφώσουν τις αντιλήψεις για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση (Καπουσίζη, 2012). Τέτοιοι παράγοντες αποτέλεσαν η προηγούμενη μαθητική εμπειρία των συμμετεχόντων και η κατεύθυνση που ακολούθησαν κατά την δευτεροβάθμια εκπαίδευσή τους. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι οι φοιτητές της ομάδας των φυσικών ανάφεραν περισσότερα παραδείγματα μοντέλων και εμφάνιζαν αντιλήψεις που συνέκλιναν περισσότερο με τις επιστημονικές, σε σχέση με τους φοιτητές των Παιδαγωγικών Τμημάτων που συμμετείχαν στην έρευνα. Επιπλέον, συγκριτικά με τους συμμετέχοντες μελλοντικούς Νηπιαγωγούς και Δασκάλους, τα ευρήματα έδειξαν ότι το διαφορετικό αντικείμενο σπουδών επηρέασε τις αντιλήψεις, μιας και η ομάδα Νηπιαγωγών, των οποίων οι σπουδές δεν διακρίνονται από εμβάθυνση στις ΦΕ, εμφάνιζε μονοδιάστατες αντιλήψεις διδακτικού χαρακτήρα για τα μοντέλα (Καπουσίζη, 2012).

Αναφορικά με τις αντιλήψεις εν ενεργεία εκπαιδευτικών ΦΕ, σε μία σχετικά πρόσφατη έρευνα βρέθηκε ότι οι απόψεις των 14 συμμετεχόντων για τα μοντέλα ήταν κατακερματισμένες, που σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες κατείχαν

ενημερωμένες απόψεις για κάποιες όψεις των μοντέλων και λιγότερο ενημερωμένες σε κάποιες άλλες (Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016). Συγκεκριμένα, ενώ οι εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν την πολλαπλότητα των μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο ως συνήθης πρακτική των επιστημόνων για χάριν παραγωγής της επιστημονικής γνώσης, εξέφρασαν και θετικιστικές απόψεις, μιας και υποστήριξαν ότι ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει σημαντικά με αυτό που αναπαριστά. Επιπλέον, τα ευρήματα έδειξαν ότι οι συμμετέχοντες απέδωσαν υλιστικά χαρακτηριστικά στα μοντέλα, ότι δηλαδή αυτά πρέπει να είναι τρισδιάστατα φτιαγμένα από πραγματικά, απτά υλικά η δισδιάστατα σε μορφή εικόνων. Αυτή η αντίληψη, αποδόθηκε στην εμπειρία των συμμετεχόντων με το «μοντέλο». Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί στα σχολικά εγχειρίδια συζητούν με βάση τις εικόνες αντικειμένων (π.χ DNA, άτομα), στις οποίες δεν αναγράφεται ο όρος «μοντέλο». Κατά τους ερευνητές, το γεγονός αυτό μπορεί να γεννήσει παρανοήσεις του τύπου τα άτομα είναι μπλε επειδή με αυτό το χρώμα τα άτομα εμφανίζονται στα σχολικά εγχειρίδια. Ανάλογα ευρήματα μπορούν να βρεθούν και σε άλλες έρευνες (π.χ. Justi & Gilbert, 2003).

Οι Βραγοτέρης &Ψύλλος (2017) μελέτησαν τις αντιλήψεις 8 εν ενεργεία έμπειρων εκπαιδευτικών ΦΕ αναφορικά με την φύση, την λειτουργία, την πολλαπλότητα και την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ημι-δομημένη συνέντευξη με ερωτήματα όπως «Τι σκεφτόσαστε όταν ακούτε τη λέξη «επιστημονικό μοντέλο» στις ΦΕ»; (φύση των μοντέλων), «Για ποιους σκοπούς χρησιμοποιούνται μοντέλα στις ΦΕ»; (σκοποί των μοντέλων), «Μπορεί σε ένα φαινόμενο να αναφέρονται περισσότερα του ενός μοντέλα»; (πολλαπλότητα των μοντέλων), «Μπορεί ένα μοντέλο να ελεγχθεί ή να μπει σε δοκιμασία για το αν συμπεριφέρεται σύμφωνα με τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε»; (αλλαγή των μοντέλων). Οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών ταξινομήθηκαν στα επίπεδα της παλαιότερης έρευνας (Grosslight et al., 1991). Αναφορικά με τη φύση των μοντέλων, τα ευρήματα έδειξαν ότι οι μισοί από τους συμμετέχοντες κατείχαν ενημερωμένες αντιλήψεις για τη φύση των μοντέλων, αφού υποστήριξαν ότι το μοντέλο αναπαριστά τις ιδέες και τις θεωρίες ενός φαινομένου και δεν αναπαριστά με πιστή ομοιότητα την πραγματικότητα, αλλά μόνο συγκεκριμένες λειτουργίες. Ωστόσο, εντοπίστηκαν αντιλήψεις δύο εκπαιδευτικών, που θέλουν τα μοντέλα να είναι πιστά αντίγραφα της πραγματικότητας. Για την λειτουργία των μοντέλων, οι μισοί εκπαιδευτικοί ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 2, θεωρώντας ότι το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει ο δάσκαλος στους μαθητές του ένα φαινόμενο. Οι αντιλήψεις δύο εκπαιδευτικών ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 1 και ισάριθμες στο επίπεδο 2. Οι πρώτες σχετίστηκαν με τη θεώρηση ότι ένα μοντέλο χρησιμοποιείται για να απλουστεύσει και να παρουσιάσει το προς μελέτη θέμα, ενώ οι δεύτερες αφορούσαν ενημερωμένες αντιλήψεις σύμφωνα με τις οποίες τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την εξήγηση και την πρόβλεψη αλλά και ως εργαλεία

διατύπωσης υποθέσεων. Για την πολλαπλότητα των μοντέλων, τα ευρήματα έδειξαν ότι οι πιο πολλοί εκπαιδευτικοί κατείχαν ενημερωμένες αντιλήψεις, αφού υποστήριξαν ότι η πολλαπλότητα των μοντέλων απορρέει από την διαφορετική αντιληπτική ικανότητα του κοινού στο οποίο απευθύνονται, αλλά και να εστιάζουν σε διαφορετικά σημεία της θεωρίας. Τέλος, αναφορικά με την δυνατότητα της αλλαγής των εκπαιδευτικών οι αντιλήψεις των περισσότερων εκπαιδευτικών αναγνωρίστηκαν στο επίπεδο 2, αφού οι πιο πολλοί εκπαιδευτικοί θεώρησαν ότι ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει όταν δεν ικανοποιεί τους σκοπούς του λόγω αλλαγής στην επιστήμη ή στην διδακτική. Τρεις εκπαιδευτικοί ταξινομήθηκαν στο επίπεδο 3 αφού θεώρησαν ότι το μοντέλο αλλάζει, ώστε τα δεδομένα του μοντέλου να συμφωνούν με τα δεδομένα της πραγματικότητας. Συνολικά, κρίνοντας τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ένα υψηλό επίπεδο κατανόησης των χαρακτηριστικών των μοντέλων από τους συμμετέχοντες εκπαιδευτικούς, και μάλιστα υψηλότερο από αυτό που καταγράφηκε σε άλλες έρευνες όπου συμμετείχαν εκπαιδευτικοί ΦΕ. Ωστόσο, οι ερευνητές επισημαίνουν ότι οι 7 από τους 8 εκπαιδευτικούς είχαν διδαχθεί για τα μοντέλα και τον ρόλο τους στην διδασκαλία των ΦΕ (Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017).

Οι Everett, Otto, & Luera (2009) μελέτησαν την αρχική γνώση 200 μελλοντικών εκπαιδευτικών Α/θμιας εκπαίδευσης για την φύση, την αλλαγή, την πολλαπλότητα και τους σκοπούς των μοντέλων χρησιμοποιώντας ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου προγενέστερων σχετικών ερευνών (Grosslight et al., 1991; Treagust et al., 2002). Συνοπτικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μελλοντικοί δάσκαλοι έχουν δυσκολία να αναγνωρίσουν ορισμένα μοντέλα, συμφωνούν ότι τα μοντέλα μπορούν να αλλάξουν και ότι μπορούν να χρησιμεύσουν ως επεξηγηματικά εργαλεία. Για παράδειγμα, νομίζουν ότι τα ζωντανά ζώα είναι ή μπορεί να είναι μοντέλα και δεν είναι σίγουροι ότι οι φωτογραφίες, οι χημικές εξισώσεις, και τα γραφήματα είναι μοντέλα. Συνολικά και σύμφωνα με τα ευρήματα, οι συμμετέχοντες κατείχαν ελάχιστη γνώση των μοντέλων και των χρήσεών τους σε σύγκριση με αυτήν των ειδικών. Δεν διακρίνουν τις ιδέες ή τους σκοπούς του μοντέλου, το μοντέλο το ίδιο, ή τη σχέση του μοντέλου με τα πειραματικά δεδομένα που υποστηρίζουν την εγκυρότητα του μοντέλου.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ένας σημαντικός αριθμός μαθητών, φοιτητών, εκπαιδευτικών θεωρεί ότι τα μοντέλα είναι ή πρέπει να είναι πιστά αντίγραφα των αντικειμένων που καλούνται να αναπαραστήσουν, να είναι τρισδιάστατα και να μοιάζουν όσο περισσότερο γίνεται με τον στόχο. Όσοι αναγνώρισαν ότι τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις οντοτήτων, θεώρησαν ότι τα μοντέλα αναπαριστούν τα αντικείμενα αυτά καθαυτά και όχι τις ιδέες που υποβόσκουν. Αναφορικά με τον σκοπό των μοντέλων, βρέθηκε μία κατηγορία αντιλήψεων που θέλει τα μοντέλα να μοιάζουν με το πραγματικό αντικείμενο, ώστε

να περιγράψει σε κάποιον πώς μοιάζει ένα αντικείμενο. Επιπλέον, στην ίδια όψη, εντοπίστηκαν αντιλήψεις κατά τις οποίες αναγνωρίζεται ότι τα μοντέλα αποτελούν εργαλεία επικοινωνίας της γνώσης ή της κατανόησης, ωστόσο υποβαθμίστηκε ο βασικός ρόλος των μοντέλων, αυτός της πρόβλεψης και της δοκιμασίας ιδεών, ή της σημαντικής συνεισφοράς των μοντέλων στην πρόοδο της επιστήμης. Επιπλέον, μια κυρίαρχη άποψη είναι ότι υπάρχει ένα μοντέλο για κάθε στόχο. Επομένως, οι μέχρι τώρα έρευνες αναδεικνύουν τις περιορισμένες και κατακερματισμένες αντιλήψεις των μαθητών/τριών, φοιτητών/τριών, ακόμα και εν ενεργεία εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών και Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.

1.6 Τα μοντέλα και η μοντελοποίηση στο Ελληνικό Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ της Α/θμιας Εκπαίδευσης

Στις παρακάτω παραγράφους, περιγράφονται τα αποτελέσματα της μελέτης των Προγραμμάτων Σπουδών της Α/θμιας Εκπαίδευσης (Νηπιαγωγείο και Δημοτικό Σχολείο) για τις ΦΕ και την Τεχνολογία αναφορικά με τα «μοντέλα» και τη «μοντελοποίηση». Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε ώστε να διαπιστωθεί πόσο σημαντικό είναι οι μελλοντικοί Νηπιαγωγοί και Δάσκαλοι να γνωρίζουν το περιεχόμενο των μοντέλων και της μοντελοποίησης, ώστε να το εισάγουν στους μαθητές τους σύμφωνα με τις οδηγίες των Προγραμμάτων Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες, όταν θα κληθούν να το εφαρμόσουν.

Ειδικότερα, και ξεκινώντας από το Πρόγραμμα Σπουδών του Νηπιαγωγείου (ΙΕΠ, 2014), αναζητήθηκαν φράσεις - προτάσεις στις οποίες να περιλαμβάνονται οι έννοιες μοντέλο και/ή μοντελοποίηση ώστε να διαπιστωθούν οι όψεις του σχετικού περιεχομένου που προτείνεται να εισαχθούν στην Προσχολική εκπαίδευση. Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν «μοντέλο», «μοντελοποίηση», «αναπαράσταση» και παράγωγά τους. Το εν λόγω Πρόγραμμα Σπουδών εξασφαλίστηκε μέσα από την διαδικτυακή σελίδα εκπαιδευτικού περιεχομένου[1]. Τα αποτελέσματα αυτού του μέρους της έρευνας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3: Αναφορές στο μοντέλο και στη μοντελοποίηση στο πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών της Προσχολικής Εκπαίδευσης

Περιεχόμενο / Ενότητα / Πειθαρχία ΦΕ	Μαθησιακοί στόχοι	Δραστηριότητες μαθητών	Δραστηριότητες Εκπαιδευτικών
Μορφολογικά και άλλα βασικά χαρακτηριστικά των ζώων και των		Τα παιδιά περιγράφουν ή συμβολίζουν τα μέρη του ανθρώπινου	

[1] https://www.esos.gr/sites/default/files/articles-legacy/1947_1o_meros_pps_nipiagogeioy.pdf (Πρόγραμμα Σπουδών Νηπιαγωγείου)

φυτών / Ζωντανοί Οργανισμοί / Βιολογία		σώματος, του σώματος των ζώων, καθώς και τα μέρη των φυτών με διάφορα μέσα (π.χ. με ιχνογράφημα, με κινητικά παιχνίδια, με κατασκευή **μοντέλου** από πλαστελίνη) ατομικά ή σε ομαδικό επίπεδο (σελ.235)	
Το ανθρώπινο σώμα: όργανα και συστήματα / Ζωντανοί Οργανισμοί / Βιολογία	Τα παιδιά να χρησιμοποιούν **μοντέλα** αναπαράστασης των οργανικών συστημάτων για να παρουσιάζουν τις γνώσεις και τα συμπεράσματά τους (σελ. 240)	Τα παιδιά εξοικειώνονται με διάφορα **μοντέλα** αναπαράστασης των βασικών οργάνων και συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού (π.χ. ένα πρόπλασμα ανθρώπινου σώματος, μία αφίσα που απεικονίζει το εσωτερικό του σώματος, ένα σχετικό λογισμικό) (σελ. 240) Τα παιδιά κατασκευάζουν **μοντέλο** από πλαστελίνη διαφορετικού χρώματος για τους μύες και τα οστά (σελ. 240) Τα παιδιά δημιουργούν **μοντέλα** του ανθρώπινου σώματος δύο και τριών διαστάσεων και εμπλουτίζουν με αυτά τη γωνιά του ιατρείου (σελ. 240)	Οι εκπαιδευτικοί εμπλουτίζουν την εκπαιδευτική διαδικασία με ποικιλία **μοντέλων,** δισδιάστατα (εικόνες), τρισδιάστατα (προπλάσματα), animated (σχετικά λογισμικά) (σελ.240)
Το σχήμα της Γης, των άλλων πλανητών & το ηλιακό μας σύστημα /		Τα παιδιά αναζητούν πληροφορίες (π.χ. από βιβλία, Διαδίκτυο) και δημιουργούν ομαδικές κατασκευές **μοντέλων** του ηλιακού	

Ο πλανήτης Γη και το διάστημα / Αστρονομία		συστήματος (π.χ. μόμπιλ, επιτραπέζια, αφίσες) χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά, (σελ. 261)	
Το σχήμα της Γης, των άλλων πλανητών & το ηλιακό μας σύστημα / Ο πλανήτης Γη και το διάστημα / Αστρονομία		Οι μαθητές ταυτοποιούν το περιεχόμενο ενός παγκόσμιου χάρτη & μιας υδρογείου (σε παρόμοια κλίμακα και που να απεικονίζουν και τα δύο τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά) εντοπίζοντας και καταγράφοντας ομοιότητες και διαφορές στα **δύο εργαλεία αναπαράστασης** (π.χ. ομοιότητες: θάλασσα, ποτάμια, ξηρά, διαφορές: σχήμα, αποχρώσεις) (σελ. 260)	Οι εκπαιδευτικοί εισάγουν τα παιδιά **στην αναπαράσταση της επιφάνειας** της Γης «από ψηλά» με αεροφωτογραφίες, ζωγραφιές, αφηγήσεις που δείχνουν την προοπτική που έχουν π.χ. οι άνθρωποι από το αεροπλάνο για τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά ενός τόπου Οι εκπαιδευτικοί παρέχουν ποικιλία ρεαλιστικών απεικονίσεων και **εργαλείων αναπαράστασης** της Γης, του ήλιου και των πλανητών (σελ. 260-261)
Η εναλλαγή μέρας-νύχτας και η κίνησης της Γης / Ο πλανήτης Γη και το διάστημα /		Τα παιδιά χρησιμοποιούν την υδρόγειο ή κάποιο αυτοσχέδιο **μοντέλο** της Γης (που να επιτρέπει την κίνηση της σφαίρας γύρω από τον άξονά της) και ένα φωτιστικό ή φακό τσέπης (τοποθετημένο σε σταθερό σημείο) ως ήλιο, χειρίζονται το	Οι εκπαιδευτικοί δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στην ανίχνευση των ιδεών των παιδιών, την διαπραγμάτευση και στο χειρισμό από τα παιδιά του **μοντέλου** (που περιλαμβάνει

Αστρονομία		υλικό αυτό για να διατυπώσουν προβλέψεις, να ελέγξουν τις ιδέες τους, να καταλήξουν σε συμπεράσματα κοινής αποδοχής (σελ. 262)	βασικά στοιχεία του) φαινομένου) και όχι στο φαινόμενο αυτό καθαυτό, ώστε να διευκολύνουν την απόκτηση μαθησιακών εμπειριών στις οποίες θα στηριχθεί η μετέπειτα σχετική νοητική πρόοδος (σελ. 261-262)
Η διαδικασία της ζωής – Βασικές ανάγκες των ζωντανών οργανισμών / Ζωντανοί Οργανισμοί / Βιολογία			Οι εκπαιδευτικοί οργανώνουν μαθησιακές καταστάσεις που βοηθούν τα παιδιά […] να **αναπαριστούν** τη συνέχιση της ζωής μέσα από τη διαδικασία αναπαραγωγής: σπόρος → φυτό → σπόροι → νέα φυτά (σελ. 243)
Οι ζωντανοί οργανισμοί στο περιβάλλον τους και η ανθρώπινη δραστηριότητα ως παρέμβαση επί της φυσικής ισορροπίας / Ζωντανοί Οργανισμοί / Βιολογία			Οι εκπαιδευτικοί προτείνουν στα παιδιά τη χρήση συμβόλων **για την αναπαράσταση** των σχέσεων αλληλεξάρτησης ανάμεσα στους ζωντανούς οργανισμούς και ανάμεσα σε αυτούς και το περιβάλλον τους (π.χ. απεικονίσεις με βελάκια, κατασκευές τύπου «αλυσίδα», μόμπιλ, συμβολική

			χρήση σχοινιών) (σελ. 245)
Απλά φυσικά φαινόμενα σχετικά με […] τον ηλεκτρισμό (απλά κυκλώματα) / Έννοιες και φαινόμενα από τον φυσικό κόσμο / Φυσική		Τα παιδιά **αναπαριστούν** με το σώμα τους ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα (σελ. 255)	

Σύμφωνα με τις οδηγίες του Προγράμματος Σπουδών ΦΕ του Νηπιαγωγείου, οι εκπαιδευτικοί ενθαρρύνονται να εφαρμόσουν διδακτικές στρατηγικές ώστε τα παιδιά να καλλιεργήσουν διερευνητική στάση απέναντι σε εμπειρίες και προβλήματα. Ανάμεσα σε αυτές που προτείνονται, είναι η καταγραφή των δεδομένων που συλλέγουν τα παιδιά μέσα από τη συστηματική παρατήρηση φαινομένων ή από άλλες πηγές, όπως σχεδίων, πινάκων και μοντέλων. Προκειμένου οι εκπαιδευτικοί να σχεδιάσουν τέτοιου είδους μαθησιακές εμπειρίες προτείνεται να αξιοποιήσουν καθοδηγούμενο χειρισμό μοντέλων. Μάλιστα, υποστηρίζεται ότι η χρήση κατάλληλων μοντέλων «επιτρέπει την προσέγγιση εννοιών και φαινομένων στα οποία τα παιδιά δεν έχουν άμεση πρόσβαση, το χειρισμό μεταβλητών που σε πραγματικές συνθήκες είναι επικίνδυνος, τον εμπλουτισμό των σχετικών δεδομένων, την κριτική επεξεργασία δεδομένων και πληροφοριών που συλλέγονται» (ΙΕΠ, 2014, σελ. 233).

Το πρόγραμμα Σπουδών του Νηπιαγωγείου για τις Φυσικές Επιστήμες δομείται από ενότητες της Βιολογίας (μελέτη των ζωντανών οργανισμών στο περιβάλλον τους), της Φυσικής (ιδιότητες της ύλης και διάφορα απλά φυσικά φαινόμενα), της Μετεωρολογίας (καιρικά φαινόμενα), της Γεωγραφίας (γεωφυσικά χαρακτηριστικά) και της Αστρονομίας (πλανήτης Γη και το ηλιακό σύστημα). Καταρχάς, και σύμφωνα με τα ευρήματα του πίνακα 3, διαπιστώνεται ότι η έννοια «μοντέλο» (είτε με άμεση είτε με έμμεση αναφορά σε αυτήν ως αναπαράσταση) εντοπίστηκε σε ενότητες που σχετίζονται με τη Βιολογία, την Αστρονομία και την Φυσική. Το γεγονός αυτό αντανακλά την διεπιστημονικότητα των μοντέλων, ότι δηλαδή είναι εργαλεία που διατρέχουν πολλές επιστήμες και δεν ανήκουν αποκλειστικά σε μία πειθαρχία.

Παρατηρούμε ότι τα μοντέλα και η μοντελοποίηση αναφέρονται είτε σε επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους, είτε σε δραστηριότητες μαθητών είτε σε πρακτικές εκπαιδευτικών ($2^{η}$, $3^{η}$, $4^{η}$ στήλη αντίστοιχα). Για παράδειγμα, αναφορικά με τους μαθησιακούς στόχους, επιδιώκεται στην Ενότητα «Ζωντανοί Οργανισμοί» οι μαθητές να χρησιμοποιούν μοντέλα ώστε να αναπαραστήσουν συστήματα οργάνων και, μέσω των μοντέλων να παρουσιάσουν την κατανόησή τους στην ολομέλεια ($3^{η}$ γραμμή, $2^{η}$ στήλη). Αναφορικά με τον γενικότερο χειρισμό των μοντέλων από τους μαθητές, παρατηρούμε ότι συχνή δραστηριότητα αποτελεί η κατασκευή μοντέλου με υλικά καθημερινής χρήσης, π.χ. πλαστελίνες, λάμπες κτλ. από τους μαθητές. Ειδικότερα, η κατασκευή μοντέλων δύο ή τριών διαστάσεων προτείνεται ώστε οι μαθητές:

- να περιγράφουν τα μέρη του ανθρώπινου σώματος (π.χ. μύες και οστά), του σώματος των ζώων, καθώς και τα μέρη των φυτών,
- να αναπαραστήσουν το ηλιακό σύστημα,
- να αναπαραστήσουν την εναλλαγή μέρας και νύχτας,
- να αναπαραστήσουν το ηλεκτρικό κύκλωμα με το σώμα τους.

Επιπλέον, ως δραστηριότητα προτείνεται οι μαθητές να χειρίζονται έτοιμα μοντέλα, π.χ.

- μοντέλα αναπαράστασης των βασικών οργάνων και συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού,
- την υδρόγειο σφαίρα και παγκόσμιους χάρτες.

Επίσης, σύμφωνα με την πρόταση του Προγράμματος Σπουδών για τις ΦΕ, οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν μοντέλα. Την πρακτική αυτή την εντοπίζουμε στην δραστηριότητα της Ενότητας «Ο πλανήτης Γη και το Διάστημα» όπου οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τα χαρακτηριστικά της Γης που αναπαρίστανται μέσα από την υδρόγειο και μέσα από έναν χάρτη, «εντοπίζοντας και καταγράφοντας ομοιότητες και διαφορές **στα δύο εργαλεία αναπαράστασης**» (σελ. 260).

Στις παραπάνω δραστηριότητες που σχετίζονται με τα μοντέλα και την μοντελοποίηση (κατασκευές μοντέλων, χειρισμός έτοιμων μοντέλων, σύγκριση μοντέλων) αναγνωρίζουμε τους βασικούς σκοπούς των μοντέλων που αναγνωρίζονται στη σχετική βιβλιογραφία. Ειδικότερα, με τις δραστηριότητες αυτές, τα παιδιά επιδιώκεται είτε να επικοινωνήσουν τη γνώση τους στους συμμαθητές τους και στον εκπαιδευτικό, είτε να αναπτύξουν οι ίδιοι τη γνώση τους,

είτε να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα ως εργαλεία πρόβλεψης και ελέγχου των ιδεών τους. Χαρακτηριστικά, στο περιεχόμενο «Η εναλλαγή μέρας – νύχτας και η κίνηση της Γης» της Ενότητας «Ο πλανήτης Γη και το διάστημα» αναφέρεται ότι «Τα παιδιά χρησιμοποιούν την υδρόγειο ή κάποιο αυτοσχέδιο μοντέλο της Γης [..] για να διατυπώσουν προβλέψεις, να ελέγξουν τις ιδέες τους, να καταλήξουν σε συμπεράσματα κοινής αποδοχής» (σελ. 262). Δηλαδή, ήδη από μικρή ηλικία φαίνεται ότι αποτελεί βασική επιδίωξη των προγραμμάτων σπουδών οι μαθητές να μάθουν να εκμεταλλεύονται την βασική λειτουργία των μοντέλων ως εργαλεία πρόβλεψης και ανάπτυξης κατανόησης.

Τέλος αναφορικά με τις δραστηριότητες των εκπαιδευτικών, εκτός από το να ενθαρρύνουν και να καθοδηγούν τα παιδιά να κατασκευάσουν τα ίδια τα μοντέλα τους, προτείνεται να χρησιμοποιούν στην εκπαιδευτική διαδικασία ποικιλία μοντέλων π.χ. δισδιάστατες απεικονίσεις (εικόνες), τρισδιάστατα μοντέλα (π.χ. προπλάσματα), κινούμενες εικόνες, φωτογραφίες, λογισμικά κτλ. Αυτή η πρακτική θεωρούμε ότι συνδέεται με την όψη πολλαπλότητα των μοντέλων, σύμφωνα με την οποία, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιούνται πολλαπλές αναπαραστάσεις για τον ίδιο στόχο (π.χ. ηλιακό σύστημα), κάθε μία από τις οποίες επικεντρώνεται σε διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Συμπερασματικά, η μελέτη του Προγράμματος Σπουδών των ΦΕ για το Νηπιαγωγείο, ανέδειξε την αναγκαιότητα οι Νηπιαγωγοί να γνωρίζουν το περιεχόμενο των μοντέλων και της μοντελοποίησης, ώστε να μπορούν να σχεδιάζουν σχετικές μαθησιακές εμπειρίες για τους μαθητές τους, με απώτερο στόχο να αναπτύξουν τα ίδια τα παιδιά την κατανόησή τους στις επιστημονικές έννοιες και φαινόμενα. Η κατασκευή, σύγκριση, χειρισμός και η χρήση πολλαπλών μοντέλων αποτελούν βασικές προτεινόμενες πρακτικές για τους μαθητές και τους Νηπιαγωγούς. Από τις όψεις του περιεχομένου των μοντέλων, δεν εντοπίστηκαν στους μαθησιακούς στόχους και στις δραστηριότητες μαθητών και εκπαιδευτικών εκείνες που σχετίζονται με την αλλαγή και την αναθεώρηση των μοντέλων, ίσως επειδή αποτελούν πιο σύνθετες όψεις από τις προηγούμενες.

Στο σκεπτικό του σχεδιασμού του Προγράμματος Σπουδών ΦΕ και Τεχνολογίας του Δημοτικού σχολείου[2] από την Α΄ μέχρι την Στ΄ τάξη (ΙΕΠ, 2014), αναφέρεται ότι βασική επιδίωξη αποτέλεσε οι μαθητές να μάθουν επιστήμη (Justi & Van Driel, 2006), αφού καλούνται «να κατανοήσουν θεμελιώδεις έννοιες, νόμους και **μοντέλα** των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας» (σελ. 8). Παράλληλα, επιδιώκεται οι

[2] Διαθέσιμο από http://ebooks.edu.gr/info/newps/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B5%CF%82/%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%94%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D.pdf

μαθητές να μάθουν να κάνουν επιστήμη αλλά και να μάθουν για την επιστήμη (Justi & Van Driel, 2006), αφού καλούνται να εμπλακούν σε διαδικασίες επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας: « [οι μαθητές και οι μαθήτριες παρακινούνται να συνεργάζονται για [….] να χρησιμοποιούν ή/και να κατασκευάζουν μοντέλα καθώς και να συζητούν για το ρόλο και τη φύση τους» (σελ. 9).

Ειδικότερα, εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία με αυτήν που εφαρμόστηκε και στην περίπτωση της μελέτης του Προγράμματος Σπουδών ΦΕ του Νηπιαγωγείου (εντοπισμός στο Πρόγραμμα Σπουδών φράσεων – προτάσεων στις οποίες περιλαμβάνονται οι έννοιες *μοντέλο – μοντελοποίηση*), κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 4), στον οποίο φαίνονται οι ενότητες όπου εντοπίστηκε περιεχόμενο σχετικό με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση ανά τάξη.

Πίνακας 4: Αναφορές στο μοντέλο και στη μοντελοποίηση στο Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας της Α/θμιας Εκπαίδευσης

Τάξη	Περιεχόμενο / Ενότητα / Πειθαρχία ΦΕ	Προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα Οι μαθητές να είναι ικανοί να:	Δραστηριότητες
Β	Γνωριμία με τις Επιστήμες και την Τεχνολογία / Το νερό ταξιδεύει για να έρθει σπίτι μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Αναγνωρίζουν τα στοιχεία, από τα οποία αποτελείται ένα **μοντέλο,** που αναπαριστά την πορεία του νερού από το υδραγωγείο στο σπίτι μας (σελ. 43) Κατασκευάζουν δικά τους αντίστοιχα **μοντέλα**. Αντιστοιχίζουν το κάθε στοιχείο του **μοντέλου** με ότι αναπαριστά στον πραγματικό κόσμο. (σελ. 43) Πραγματοποιούν αλλαγές στα **μοντέλα** αυτά με στόχο την βελτίωσή τους (σελ. 43)	Περιγράφουν την πορεία αυτή (σημ. το ταξίδι του νερού από το υδραγωγείο στο σπίτι μας) με δικά τους **μοντέλα.** (σελ. 43) Συζητούν τον λόγο, για τον οποίο συμπεριέλαβαν τα διάφορα στοιχεία του **μοντέλου** που σχεδίασαν (π.χ. υδραγωγείο, σωλήνες, σπίτια, βέλη κ.ά.). Ανακοινώνουν και περιγράφουν τα **μοντέλα** τους στην τάξη. (σελ. 43) Βελτιώνουν τα **μοντέλα** τους, μετά το τέλος της παρουσίασης όλων των ομάδων, καταγράφοντας τους λόγους των αλλαγών/προσθηκών (σελ. 43)
Β	Γνωριμία με τις Επιστήμες και την Τεχνολογία / Το νερό ταξιδεύει για	Κατασκευάζουν απλά **μοντέλα**, περιγράφοντας και ερμηνεύοντας τον κύκλο του νερού. (σελ. 43)	Κατασκευάζουν **μοντέλα** στο χαρτί ή με τη βοήθεια λογισμικού εννοιολογικής χαρτογράφησης στο διαδραστικό πίνακα για να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν τον κύκλου του νερού. Ανακοινώνουν και περιγράφουν τα **μοντέλα** τους

	να έρθει σπίτι μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία		στην τάξη. Βελτιώνουν τα **μοντέλα** τους, μετά το τέλος της παρουσίασης όλων των ομάδων, καταγράφοντας τους λόγους των αλλαγών/προσθηκών (σελ. 43).
Δ	Οι ζωντανοί οργανισμοί – τα οικοσυστήματα / Ζώα (ασπόνδυλα, σπονδυλωτά μέλισσα) / Βιολογία	Περιγράφουν ζωή χαρακτηριστικών ασπόνδυλων και να κατασκευάζουν απλά **μοντέλα** αυτών των κύκλων (σελ. 62).	
Ε	Ύλη / Υλικά και τεχνολογικά αντικείμενα γύρω μας – Πρώτες ύλες / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Χρησιμοποιούν ή/και να κατασκευάζουν **μοντέλα**, για να περιγράψουν την παραγωγή τεχνολογικών αντικειμένων (σελ. 80). Να αποκτήσουν επίγνωση για τη φύση και το ρόλο των **μοντέλων** αυτών (Σημ. μοντέλων παραγωγής τεχνολογικών αντικειμένων). (σελ. 80).	Χρήση και κατασκευή **μοντέλων,** για την περιγραφή της παραγωγής τεχνολογικών αντικειμένων (σελ. 80) Διερεύνηση στηριγμένη στα **μοντέλα** (σελ. 80) Προτείνουν δικά τους **μοντέλα** για την περιγραφή μιας διαδικασίας παραγωγής τεχνολογικού αντικειμένου και συζητούν στην τάξη, σχετικά με το ρόλο και τη φύση των **μοντέλων** αυτών (σελ. 80). Επανέρχονται, για να ελέγξουν τα **μοντέλα**, που πρότειναν με βάση την ανατροφοδότηση, που προέκυψε από τη συζήτηση στην τάξη. Συζητούν τις αλλαγές που προτείνουν και τους λόγους, για τους οποίους τις προτείνουν (σελ. 80) Αναζητούν στο διαδίκτυο στοιχεία σχετικά […] με

			τις διαδικασίες παραγωγής τους (σημ. των νέων τεχνολογικών υλικών) ή/και τη χρήση τους, [..] τα **μοντέλα** που περιγράφουν τις διαδικασίες κ.ά. (σελ. 80)
Ε	Ύλη / Η πυκνότητα των υλικών γύρω μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Χρησιμοποιούν **μοντέλα** της πυκνότητας, για να προβλέπουν και να ερμηνεύουν την πλεύση και τη βύθιση. Να αποκτήσουν επίγνωση για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων αυτών (σελ. 82).	Διερεύνηση στηριγμένη στα **μοντέλα.** Συζητούν για το ρόλο και τη φύση **των μοντέλων** της πυκνότητας (σελ. 82).
Ε	Θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων και κατοικιών. / Η θερμότητα στη ζωή μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Οι μαθητές να είναι ικανοί να χρησιμοποιούν το **μοντέλο** «Σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας – Σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας», για να ερμηνεύουν και να προβλέπουν το φαινόμενο της θερμικής αλληλεπίδρασης (σελ. 87).	Χρησιμοποιούν **μοντέλα** με τη βοήθεια του διαδραστικού πίνακα, για να ερμηνεύσουν και να προβλέψουν τη θερμική συμπεριφορά των υλικών (σελ 87).
Ε	Αλλαγή κατάστασης των υλικών / Η θερμότητα στη ζωή μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία		Χρησιμοποιούν **μοντέλα** από το μικρόκοσμο, με τη βοήθεια του διαδραστικού πίνακα, για την ερμηνεία της διαστολής και συστολής των υλικών (σελ. 87).
Ε	Το ταξίδι της ενέργειας στον ανθρώπινο οργανισμό	Να παρατηρούν προπλάσματα - **μοντέλα**, να αναφέρουν τα όργανα του πεπτικού συστήματος και τα	

	/ Τεχνολογικές Εφαρμογές της Ενέργειας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	συσχετίζουν με τις λειτουργίες που επιτελούν (σελ. 92). Να παρατηρούν **μοντέλα** και περιγράφουν την βασική δομή και λειτουργία του κυκλοφορικού (σελ. 92).	
Ε	Το ταξίδι της ενέργειας στον ανθρώπινο οργανισμό / Ηλεκτρικά και Μαγνητικά φαινόμενα / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία		Οι μαθητές κατασκευάζουν έναν ηλεκτρομαγνήτη με πραγματικά υλικά και δοκιμάζουν **το μοντέλο** που κατασκεύασαν (σελ. 95). Οι μαθητές κατασκευάζουν εικονικά **το μοντέλο** του ηλεκτρομαγνήτη και πειραματίζονται (σελ. 95).
ΣΤ	Το φως ταξιδεύει πάνω στην ακτίνα / Το φως γύρω μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Διατυπώνουν προβλέψεις και ερμηνείες για το σχηματισμό ειδώλων και σκιών, με τη χρήση του **μοντέλου** της γεωμετρικής οπτικής (σελ. 108).	
ΣΤ	Ανάκλαση και διάθλαση του φωτός / Το φως γύρω μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Χρησιμοποιούν το μοντέλο της γεωμετρικής **οπτικής**, για να προβλέπουν και να ερμηνεύουν την ανάκλαση και τη διάθλαση του φωτός (σελ. 109).	Πραγματοποιούν πραγματικά και εικονικά πειράματα […], χρησιμοποιώντας το μοντέλο της **οπτικής** ακτίνας, για να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης (σελ. 109). Σχεδιάζουν εικονικά πειράματα […], στα οποία κάνουν χρήση του **μοντέλου** της οπτικής ακτίνας, για να συνδέσουν τη λειτουργία των κατόπτρων και

			των φακών με το φαινόμενο της ανάκλασης και της διάθλασης αντίστοιχα (σελ. 109). Κατασκευάζουν **το μοντέλο** της φωτογραφικής μηχανής (σελ. 109).
ΣΤ	Όραση και μάτι / Το φως γύρω μας / Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία		Περιγραφή της βασικής δομής και της λειτουργίας των μερών του ματιού με χρήση **μοντέλου** (προπλάσματος ή ψηφιακής προσομοίωσης) (σελ. 110).
ΣΤ	Η ενέργεια μεταφέρεται και αποθηκεύεται / Το ταξίδι της ενέργειας Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Απεικονίζουν τη μεταφορά της ενέργειας με τα ενεργειακά διαγράμματα Sankey (σελ. 118) **Μοντέλα**-Ενεργειακά διαγράμματα Sankey (σελ. 118).	Οι μαθητές σε ομάδες μαθαίνουν να χρησιμοποιούν τα ενεργειακά διαγράμματα Sankey σε ποικιλία περιπτώσεων στις οποίες η αποθηκευμένη ενέργεια μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο (σελ. 118).
ΣΤ	Η ενέργεια στα φυτά / Το ταξίδι της ενέργειας Φυσικές Επιστήμες & Τεχνολογία	Να κατασκευάζουν απλά **μοντέλα** οικοσυστημάτων με τα βασικά συστατικά τους στοιχεία: παράγοντες, που αποτελούν ένα οικοσύστημα, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών) (σελ. 120). Κατασκευάζουν **μοντέλα** τροφικών πλεγμάτων και ανιχνεύουν τις πιθανές αλλαγές που επιφέρει αλλαγή σε έναν κόμβο (σελ. 120).	Κινητική ομαδική δραστηριότητα σε κύκλο **αναπαράστασης** τροφικών αλυσίδων, που κατέγραψαν κατά την επίσκεψη στο πεδίο (σελ. 120).

Διαπιστώνεται ότι περιεχόμενο σχετικά με τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση εντοπίζεται ήδη από ενότητες της Β΄ Δημοτικού. Οι σχετικές ενότητες που περιλαμβάνουν το εν λόγω περιεχόμενο ανήκουν σε θεματικές περιοχές της Γεωγραφίας, της Βιολογίας και γενικότερα των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας (στις μεγάλες τάξεις). Τα «μοντέλα και η μοντελοποίηση» εντοπίζονται

σε επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους και δραστηριότητες μαθητών όπως ακριβώς και στο Νηπιαγωγείο. Για παράδειγμα, αναφορικά με τους μαθησιακούς στόχους, επιδιώκεται στην ενότητα της Δ΄ Δημοτικού «Οι ζωντανοί οργανισμοί – τα οικοσυστήματα» οι μαθητές να «περιγράφουν τη ζωή χαρακτηριστικών ασπόνδυλων και να κατασκευάζουν απλά μοντέλα αυτών των κύκλων» (σελ. 62), ενώ ως προς τις δραστηριότητες, στην ενότητα της Ε΄ Δημοτικού με τίτλο «Η πυκνότητα των υλικών γύρω μας» προτείνεται οι μαθητές να «συζητούν για το ρόλο και τη φύση των μοντέλων της πυκνότητας» (σελ. 82).

Αναφορικά με τις πρακτικές μοντελοποίησης (Εικόνα 8), εντοπίζουμε όλες τις πρακτικές που έχουν αναγνωριστεί από τη βιβλιογραφία (Schwarz et al., 2009). Ειδικότερα, στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) φαίνονται οι εν λόγω πρακτικές με αντίστοιχα ενδεικτικά παραδείγματα από το Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ και Τεχνολογίας της Α/θμιας Εκπαίδευσης:

Πίνακας 5: Παραδείγματα πρακτικών μοντελοποίησης που αναγνωρίστηκαν στο Πρόγραμμα Σπουδών του ΦΕ και Τεχνολογίας του Δημοτικού Σχολείου

Πρακτικές Μοντελοποίησης (Εικόνα 8)	Παραδείγματα από το Πρόγραμμα Σπουδών του Δημοτικού Σχολείου
Κατασκευή	Οι μαθητές κατασκευάζουν μοντέλα τροφικών πλεγμάτων και ανιχνεύουν τις πιθανές αλλαγές που επιφέρει αλλαγή σε έναν κόμβο (σελ. 120).
Σύγκριση - Αναθεώρηση - Επικύρωση	Οι μαθητές προτείνουν δικά τους μοντέλα για την περιγραφή μιας διαδικασίας παραγωγής τεχνολογικού αντικειμένου και συζητούν στην τάξη, σχετικά με το ρόλο και τη φύση των μοντέλων αυτών (σελ. 80). Επανέρχονται, για να ελέγξουν τα μοντέλα, που πρότειναν με βάση την ανατροφοδότηση, που προέκυψε από τη συζήτηση στην τάξη. Συζητούν τις αλλαγές που προτείνουν και τους λόγους, για τους οποίους τις προτείνουν (σελ. 80)
Χρήση	Οι μαθητές παρατηρούν μοντέλα και περιγράφουν την βασική δομή και λειτουργία του κυκλοφορικού (σελ. 92).

Επιπλέον, στο Πρόγραμμα Σπουδών των ΦΕ και της Τεχνολογίας του Δημοτικού σχολείου μπορούμε να αναγνωρίσουμε τους βασικούς σκοπούς των μοντέλων (Πίνακας 6), που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία (π.χ. Schwarz et al., 2009).

Πίνακας 6: Παραδείγματα από το Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ και Τεχνολογίας στα οποία αναγνωρίζονται οι σκοποί των μοντέλων

Σκοπός των μοντέλων	Παραδείγματα
Εργαλεία οικοδόμησης της γνώσης	(Οι μαθητές) να παρατηρούν μοντέλα και να περιγράφουν την βασική δομή και λειτουργία του κυκλοφορικού (σελ. 92).
Εργαλεία επικοινωνίας της γνώσης	(Οι μαθητές) περιγράφουν την πορεία αυτή

	(σημ. το ταξίδι του νερού από το υδραγωγείο στο σπίτι μας) με δικά τους μοντέλα. (σελ. 43)
Εργαλεία πρόβλεψης	(Οι μαθητές) διατυπώνουν προβλέψεις και ερμηνείες για το σχηματισμό ειδώλων και σκιών, με τη χρήση του **μοντέλου** της γεωμετρικής οπτικής (σελ. 108).
Εργαλεία απεικόνισης, εξήγησης	Περιγραφή της βασικής δομής και της λειτουργίας των μερών του ματιού με χρήση **μοντέλου** (προπλάσματος ή ψηφιακής προσομοίωσης) (σελ. 110)

Εκτός από τις πρακτικές μοντελοποίησης και τους σκοπούς των μοντέλων, αναγνωρίζουμε και άλλες όψεις του περιεχομένου των μοντέλων, όπως η πολλαπλότητα. Για παράδειγμα, οι μαθητές ενθαρρύνονται να χρησιμοποιήσουν διάφορα μοντέλα της πυκνότητας ώστε να προβλέπουν και να ερμηνεύουν την πλεύση και τη βύθιση.

Ιδιαίτερα, τονίζουμε ότι οι εκπαιδευτικοί της Α/θμιας εκπαίδευσης προτρέπονται να παρέχουν την ευκαιρία στους μαθητές τους να βιώσουν διερευνήσεις στηριγμένες στα μοντέλα (model based inquiry) (τελευταία στήλη του πίνακα). Σε τέτοια ομαδοσυνεργατικά και μαθητοκεντρικά περιβάλλοντα, οι μαθητές έχουν την δυνατότητα να παράγουν συλλογισμούς επιστημονικού τύπου, το οποίο αποτελεί βασικό στόχο του προγράμματος Σπουδών.

Ολοκληρώνοντας, η μελέτη του Προγράμματος Σπουδών των ΦΕ και της Τεχνολογίας του Δημοτικού Σχολείου, ανέδειξε την αναγκαιότητα οι μελλοντικοί δάσκαλοι να γνωρίζουν το περιεχόμενο των μοντέλων και της μοντελοποίησης, ώστε να μπορούν να σχεδιάζουν σχετικές μαθησιακές εμπειρίες για τους μαθητές τους, με απώτερο στόχο να μάθουν επιστήμη, να κάνουν επιστήμη και να μάθουν για την επιστήμη. Συγκρίνοντας το εν λόγω πρόγραμμα Σπουδών με αυτό του Νηπιαγωγείου, παρατηρούμε ότι και στα δύο προγράμματα επιδιώκεται οι μαθητές να εμπλακούν στις πρακτικές της κατασκευής, σύγκρισης, χειρισμού και χρήσης πολλαπλών μοντέλων. Επιπρόσθετα με αυτές τις πρακτικές, στο Δημοτικό Σχολείο περιλαμβάνεται η όψη που αφορά την αξιολόγηση και αλλαγή των μοντέλων, η οποία όπως προαναφέρθηκε δεν εντοπίστηκε στο αντίστοιχο Πρόγραμμα Σπουδών του Νηπιαγωγείου. Μάλιστα αυτή η όψη εισάγεται ήδη από τη Β’ Δημοτικού (δεύτερη γραμμή του πίνακα 4). Με μία ολιστική μάτια, φαίνεται ότι επιδιώκεται οι μαθητές του Δημοτικού Σχολείου να γνωρίσουν όλες τις όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης. Αυτή η επιδίωξη αποτελεί μία επιπρόσθετη ένδειξη της σημασίας οι μελλοντικοί αλλά και οι εν ενεργεία εκπαιδευτικοί να αποκτήσουν επίγνωση για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης.

1.7 Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Επισκόπησης

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται τα συμπεράσματα της επισκόπησης της βιβλιογραφίας σχετικά με φύση των μοντέλων και της μοντελοποίησης, με τις αντιλήψεις μαθητών, εν ενεργεία και μελλοντικών εκπαιδευτικών της υποχρεωτικής εκπαίδευσης, όπως και σχετικά με τα αποτελέσματα της μελέτης του Προγράμματος Σπουδών του Νηπιαγωγείου υπό το πρίσμα της συμπερίληψης των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην διδασκαλία. Τα συμπεράσματα γράφονται παρακάτω:

(Α) Η επιστήμη ορίζεται ως μία συνεχής διαδικασία κατασκευής, περιγραφής, επεξήγησης και αναθεώρησης μοντέλων φυσικών φαινομένων. Αναγνωρίζοντας τη σημασία κατασκευής και αναθεώρησης των μοντέλων, αναδύεται μία πρόκληση στην Διδακτική των Φυσικών Επιστημών να καλλιεργήσει την ικανότητα των μαθητών στην κατανόηση μοντέλων και της μοντελοποίησης της γνώσης, με απώτερο στόχο την απόκτηση και την ανάπτυξη του επιστημονικού γραμματισμού.

(Β) Έχουν διατυπωθεί πολλοί ορισμοί για τα μοντέλα. Οι πιο πολλοί από αυτούς εστιάζουν στην αναπαραστατική τους φύση, στον σκοπό, στην πολλαπλότητα και στην χρήση των μοντέλων. Ένα μοντέλο αναπαριστά τις έννοιες-ιδέες που εμπεριέχονται σε ένα αντικείμενο, ένα γεγονός, ένα σύστημα, μια διαδικασία, ένα φαινόμενο, τα οποία γενικά καλούνται *στόχοι*. Η χρησιμότητα των μοντέλων έγκειται κυρίως στην ανάπτυξη της κατανόησης, στην δοκιμασία ιδεών και στην πρόβλεψη των φαινομένων. Επιπλέον, τα μοντέλα χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία της γνώσης. Η πολλαπλότητα των μοντέλων απορρέει από το γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης (π.χ. εικόνες, τρισδιάστατες κατασκευές) αλλά και επειδή το κάθε μοντέλο επικεντρώνεται σε διαφορετικές όψεις του ίδιου στόχου, λειτουργώντας συμπληρωματικά το ένα ως προς το άλλο.

(Γ) Η μοντελοποίηση αφορά μία πολυδιάστατη διαδικασία που αναφέρεται στην κατασκευή και στην βελτιστοποίηση των επιστημονικών μοντέλων. Διακρίνεται από διάφορα στάδια, όπως τη διενέργεια συστηματικών παρατηρήσεων ή/και συλλογή εμπειριών σχετικά με το υπό μελέτη φαινόμενο, την κατασκευή του μοντέλου του φαινομένου που θα βασίζεται σε παρατηρήσεις και εμπειρίες, την αξιολόγηση του μοντέλου με βάση την χρησιμότητά του, την προγνωστική και την επεξηγηματική του ισχύ, και την αναθεώρηση του μοντέλου και την εφαρμογή του σε νέες καταστάσεις.

(Δ) Στα σχολεία, η ικανότητα μοντελοποίησης θεωρείται αναπόσπαστο μέρος του επιστημονικού γραμματισμού. Βιώνοντας εμπειρίες μοντελοποίησης, οι μαθητές

έχουν την ευκαιρία να αναπτύξουν τα δικά τους μοντέλα για την κατανόηση του προς μελέτη φαινομένου. Οι πρακτικές μοντελοποίησης που εντοπίστηκαν κατά την βιβλιογραφική επισκόπηση περιλαμβάνουν την δυνατότητα οι μαθητές (α) να κατασκευάζουν σύμφωνα με τεκμήρια και να χρησιμοποιούν μοντέλα, ώστε να περιγράψουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν φαινόμενα, (β) να συγκρίνουν και να αξιολογούν μοντέλα, καθώς και να αναπαριστούν με ακρίβεια τα φαινόμενα και να προβλέπουν νέα φαινόμενα, (γ) να αναθεωρούν τα μοντέλα για να αυξήσουν την επεξηγηματική και προγνωστική ισχύ τους, λαμβάνοντας υπόψη πρόσθετα στοιχεία ή πρόσθετες πτυχές ενός φαινομένου, και (δ) να κατανοούν τη χρησιμότητα πολλών μοντέλων του ίδιου φαινομένου ή αντικειμένου. Μέσω της μοντελοποίησης οι μαθητές μαθαίνουν την επιστήμη, μαθαίνουν να κάνουν επιστήμη και μαθαίνουν για την επιστήμη.

(Ε) Η ανάδειξη των αντιλήψεων για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση μαθητών, φοιτητών και μελλοντικών και εν ενεργεία εκπαιδευτικών αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της έρευνας σχετική με την συμπερίληψη των μοντέλων στα σχολικά πλαίσια. Οι ερευνητές της Διδακτικής των ΦΕ σε αυτόν τον τομέα έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές κλίμακες ώστε να διαμορφώσουν διαφορετικά επίπεδα κατανόησης. Στη σχετική έρευνα εξετάζονται συνήθως τέσσερις όψεις: αντιλήψεις σχετικές με: (α) τη φύση των μοντέλων, (β) τη φύση ή την διαδικασία μοντελοποίησης, (γ) την αξιολόγηση και αναθεώρηση των μοντέλων και (δ) τον σκοπό των μοντέλων.

(ΣΤ) Σε αυτές τις όψεις, στο χαμηλότερο επίπεδο κατανόησης έχουν συμπεριληφθεί αντιλήψεις που θέλουν τα μοντέλα πιστές αναπαραστάσεις της πραγματικότητας, να μην αλλάζουν και να έχουν ως σκοπό την απλοποίηση ενός φαινομένου. Αντίθετα, στα ανώτερα επίπεδα κατανόησης, ταξινομούνται αντιλήψεις κατά τις οποίες τα μοντέλα γίνονται αντιληπτά ως εργαλεία έρευνας, δοκιμασίας ιδεών και υποθέσεων. Διαπιστώνεται δυσκολία των συμμετεχόντων να αντιληφθούν την προβλεπτική ισχύ των μοντέλων, όπως και την συνεισφορά τους στην δοκιμασία ιδεών.

(Ζ) Διαπιστώνεται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την συμπερίληψη των μοντέλων και της μοντελοποίησης στα Προγράμματα Σπουδών της Ελληνικής Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης. Η μελέτη του αντίστοιχου ΠΣ του Νηπιαγωγείου αλλά και του Δημοτικού, έδειξε ότι υπάρχουν διάφορες θεματικές στις οποίες, είτε σε επιδιωκόμενους μαθησιακούς στόχους, είτε σε δραστηριότητες μαθητών είτε σε πρακτικές εκπαιδευτικών, συμπεριλαμβάνονται όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Ερευνητικά Ερωτήματα

Η μελέτη των Προγραμμάτων σπουδών ΦΕ του Νηπιαγωγείου και του Δημοτικού Σχολείου έδειξε ότι είναι κυρίαρχη η συμπερίληψη των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην διδασκαλία εννοιών και φαινομένων των ΦΕ. Μάλιστα, φαίνεται ότι η εμπλοκή των μαθητών στα μοντέλα είναι σταδιακή, αφού στο Νηπιαγωγείο μαθαίνουν να χρησιμοποιούν, να κατασκευάζουν μοντέλα και στο Δημοτικό να τα αξιολογούν.

Ο ρόλος του εκπαιδευτικού στο να εμπλέξει τους μαθητές του στις πρακτικές μοντελοποίησης είναι κυρίαρχος. Χρειάζεται να είναι ικανός να σχεδιάζει διερευνήσεις βασισμένες στα μοντέλα, ώστε οι μαθητές, παίρνοντας ενεργό ρόλο, να ασκηθούν σε επιστημονικές πρακτικές και να αναπτύξουν συλλογισμούς με βάση τα μοντέλα. Ωστόσο, το εγχείρημα αυτό (δηλαδή του σχεδιασμού και της εφαρμογής διερευνήσεων βασισμένων στα μοντέλα) συνιστά πρόκληση. Το μέρος της βιβλιογραφίας σχετικά με το πώς οι εκπαιδευτικοί αξιοποιούν τα μοντέλα στην τάξη, έδειξε ότι αφενός τα χρησιμοποιούν ως εργαλεία επίδειξης και αφετέρου σπανίως συζητούν με τους μαθητές τους επιστημολογικά θέματα που άπτονται των μοντέλων και της μοντελοποίησης (Everett et al., 2009). Παράλληλα, είναι σαφές ότι οι εν ενεργεία αλλά και οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί, που διαθέτουν ελλιπή κατανόηση για τις όψεις του περιεχομένου των μοντέλων και της μοντελοποίησης, μπορούν να προκαλέσουν παρανοήσεις για τις έννοιες και φαινόμενα των ΦΕ στους μαθητές τους. Για παράδειγμα, ένας εκπαιδευτικός που θεωρεί ότι τα μοντέλα είναι πιστές αναπαραστάσεις της πραγματικότητας, μπορεί να διδάξει στους μαθητές του ότι τα άτομα των χημικών στοιχείων είναι χρωματιστές μπάλες γιατί έτσι αναπαριστώνται στα σχολικά εγχειρίδια. Έτσι, δεν θα μπορούσαν να αναπτύσσουν με επιστημονική εγκυρότητα έννοιες των ΦΕ στους μαθητές τους. Αυτό το εύρημα υποστηρίζει την ανάγκη για κατάλληλη επιμόρφωση των εν ενεργεία αλλά και μελλοντικών εκπαιδευτικών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στα μοντέλα και στη μοντελοποίηση, ώστε να κάνουν χρήση μοντέλων στα μαθήματα της σχολικής επιστήμης με ενημερωμένο τρόπο (Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016).

Αφετηρία του σχεδιασμού ενός τέτοιου προγράμματος επαγγελματικής ανάπτυξης εκπαιδευτικών πρέπει να είναι η ανάδειξη των αρχικών αντιλήψεων τους για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση, ώστε οι σχεδιαστές των προγραμμάτων να σχεδιάσουν δραστηριότητες για να τις ανατρέψουν. Η επισκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι το μέρος της έρευνας σχετικά με τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων παρέχει κάποιες

σημαντικές πληροφορίες για το νόημα που αποδίδουν οι εκπαιδευτικοί στο «μοντέλο» και την διδακτική του αξιοποίηση. Η αξία αυτών των ερευνών έγκειται στο ότι σκιαγραφείται η αρχική κατάσταση των συμμετεχόντων, ώστε να αξιοποιηθεί στον σχεδιασμό προγραμμάτων επιμόρφωσης. Ειδικότερα, οι υπεύθυνοι κατάρτισης προγραμμάτων σπουδών χρειάζεται να σχεδιάσουν κατάλληλες εκπαιδευτικές στρατηγικές που θα ενημερώνουν και θα κατευθύνουν τους φοιτητές /τριες στη στέρεη γνώση για τα μοντέλα. Έτσι το όφελος από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορεί να είναι διπλό: μπορούν να βελτιώσουν άμεσα την εκπαίδευση των μελλοντικών εκπαιδευτικών και έμμεσα να επιφέρουν βελτίωση της διδασκαλίας των ΦΕ στο σχολείο (Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016).

Τέλος, επικεντρωμένοι σε Έλληνες Εκπαιδευτικούς, σημειώνουμε ότι ενώ εντοπίστηκε ένας αριθμός ερευνών που αφορούν τις αντιλήψεις περί μοντέλων μελλοντικών εκπαιδευτικών του Δημοτικού Σχολείου δεν βρέθηκε αντίστοιχη έρευνα για τους εκπαιδευτικούς της προσχολικής εκπαίδευσης. Αυτό το εύρημα, σύμφωνα με τα όσα σημειώθηκαν, καθιστά ασαφή την αρχική κατάσταση των μελλοντικών εκπαιδευτικών ως προς τα μοντέλα και την μοντελοποίηση.

Με βάση τα παραπάνω, τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδήγησαν την πορεία της παρούσας εργασίας είναι:

(Α) Ποιες είναι οι αντιλήψεις φοιτητών/τριών του ΠΤΝ και του ΠΤΔΕ Φλώρινας για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση;

(Β) Πώς διαμορφώνονται οι αντιλήψεις φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ Φλώρινας για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση μετά την εμπλοκή τους σε μαθήματα περί μοντέλων στη διάρκεια των σπουδών τους;

Λαμβάνοντας υπόψη τις όψεις της φύσης και του ρόλου των μοντέλων που αναγνωρίστηκαν στην βιβλιογραφική επισκόπηση, σε κάθε περίπτωση επιδιώκουμε να απαντήσουμε στα παρακάτω υποερωτήματα:

1. Ποιο νόημα αποδίδουν οι φοιτητές / φοιτήτριες στον όρο «μοντέλο»;

2. Σε ποιο βαθμό θεωρούν οι φοιτητές / φοιτήτριες ότι τα μοντέλα πρέπει να μοιάζουν με τους στόχους (φαινόμενο, διαδικασία, σύστημα) που αναπαριστούν;

3. Ποια είναι η αξία της πολλαπλότητας των μοντέλων για τους φοιτητές / φοιτήτριες, ως χαρακτηριστικό της φύσης των μοντέλων;

4. Πώς αντιλαμβάνονται οι φοιτητές / φοιτήτριες την «μοντελοποίηση»;

5. Ποιους σκοπούς αναγνωρίζουν οι φοιτητές / φοιτήτριες στα μοντέλα;

6. Με βάση τα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά, ποιες μορφές αναπαράστασης αναγνωρίζουν οι φοιτητές / φοιτήτριες ως μοντέλα;

7. Αναγνωρίζουν, και για ποιους λόγους, οι φοιτητές / φοιτήτριες την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων, ως χαρακτηριστικό των μοντέλων;

2.2 Διαμόρφωση Ερευνητικού Εργαλείου Συλλογής Δεδομένων

Στην παρούσα εργασία, για την ανάδειξη των αντιλήψεων των συμμετεχόντων χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο συλλογής δεδομένων ένα γραπτό ερωτηματολόγιο ατομικής συμπλήρωσης. Το γραπτό ερωτηματολόγιο, ως εργαλείο συλλογής δεδομένων, έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα εργαλεία συλλογής δεδομένων, όπως π.χ. την συνέντευξη. Τέτοια πλεονεκτήματα είναι η ταχύτερη εφαρμογή, ότι μπορεί να συμπληρωθεί από έναν μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων και ότι η συμπλήρωσή του διακρίνεται από έλλειψη επίδρασης του ερευνητή στους ερωτούμενους (Bryman, 2017).

Ο σχεδιασμός του γραπτού ερωτηματολογίου βασίστηκε στους παρακάτω άξονες:

Άξονας 1ος: Απάλειψη των μειονεκτημάτων του γραπτού ερωτηματολογίου ως εργαλείου συλλογής δεδομένων

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα του γραπτού ερωτηματολογίου, είναι ότι μπορεί να διαβαστεί ολόκληρο, και έτσι δυνητικά θα μπορούσαν οι ερωτώμενοι να αλιεύσουν στοιχεία από όλες τις ερωτήσεις ώστε να βοηθούν στις απαντήσεις τους (Bryman, 2017). Προκειμένου να απαλειφθεί αυτό το μειονέκτημα, επιλέγηκαν κατάλληλα έργα ώστε να είναι σχετικά απίθανο, ο ερωτώμενος να συνδυάσει πληροφορίες από τις διατυπώσεις των έργων συνολικά.

Επίσης, ένα άλλο μειονέκτημα του γραπτού ερωτηματολογίου, είναι ότι είναι πιθανό να προκαλέσει κόπωση στον ερωτούμενο, σε περίπτωση που συγκροτείται από πολλές ερωτήσεις (Bryman, 2017). Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε το ερωτηματολόγιο να περιλαμβάνει μικρό αριθμό έργων, που να επιτρέπει όμως την σκιαγράφηση των αντιλήψεων των φοιτητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.

Άξονας 2ος : Βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με τις όψεις του περιεχομένου των μοντέλων και της μοντελοποίησης

Η βιβλιογραφική επισκόπηση που αφορά στην ανάδειξη των όψεων του περιεχομένου των μοντέλων και της μοντελοποίησης έδειξε ότι αναγνωρίζονται

τέσσερις όψεις: (α) η φύση των μοντέλων (π.χ. τι είναι μοντέλο, πολλαπλότητα των μοντέλων, είδη μοντέλων (Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014; Schwarz et al., 2009), (β) η φύση ή η διαδικασία της μοντελοποίησης (π.χ. ποια στάδια περιλαμβάνει η μοντελοποίηση), (γ) η αξιολόγηση και η αλλαγή των μοντέλων (π.χ. με ποια κριτήρια ένα μοντέλο αξιολογείται) και (δ) ο σκοπός των μοντέλων (π.χ. γιατί χρησιμοποιούνται μοντέλα στην επιστήμη). Οι παραπάνω όψεις εντοπίστηκαν στα Προγράμματα Σπουδών για τις ΦΕ και την Τεχνολογία του Νηπιαγωγείου και του Δημοτικού Σχολείου (βλέπε ενότητα 1.6). Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε στο γραπτό ερωτηματολόγιο να συμπεριληφθούν έργα που να σχετίζονται και με τις τέσσερις όψεις των μοντέλων. Με βάση αυτές τις όψεις, υιοθετούμε έναν ορισμό για τα μοντέλα ως εργαλεία αναπαράστασης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη της λειτουργίας ενός φαινομένου / ενός συστήματος / μίας διαδικασίας / ενός αντικειμένου. Σε αυτόν τον ορισμό, εμπεριέχεται και η αναθεώρηση – αλλαγή των μοντέλων αλλά και η πολλαπλότητα, μιας και τα μοντέλα αλλάζουν ανάλογα με τον βαθμό με τον οποίο ικανοποιούν τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκαν, κι επίσης μπορούν να υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο αφού το κάθε μοντέλο εξυπηρετεί τον δικό του σκοπό (Lazenby et al., 2020).

Άξονας 3ος : Ζητήματα που αφορούν τον τύπο των έργων στο γραπτό ερωτηματολόγιο

Ένα ερωτηματολόγιο ατομικής συμπλήρωσης συγκροτείται από έργα ανοιχτού ή κλειστού τύπου. Στα πρώτα δίνεται στους ερωτώμενους μία ερώτηση, την οποία καλούνται να απαντήσουν όπως αυτοί νομίζουν. Στον δεύτερο τύπο ερωτήσεων, δίνεται για κάθε ερώτηση ένας αριθμός προκαθορισμένων απαντήσεων, μεταξύ των οποίων καλούνται να επιλέξουν αυτή που κατά τη γνώμη τους είναι η κατάλληλη (Bryman, 2017). Η μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας λοιπόν επικεντρώθηκε στο να διερευνηθούν τα πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα του κάθε τύπου ερώτησης ώστε να αποφασιστεί αν το ερωτηματολόγιο θα συμπεριλάβει ανοιχτού ή κλειστού τύπου έργα.

Ειδικότερα, οι Πετρίδου & Ψύλλος (2008) παρατήρησαν ότι οι φοιτητές που συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου στην πιλοτική έρευνα, επέλεγαν κάποια από τις προτεινόμενες απαντήσεις μεν, χωρίς όμως να παράσχουν κάποια αιτιολόγηση ή ένα παράδειγμα δε. Προκειμένου να αποφύγουν αυτή την ελλιπή ποσότητα δεδομένων, όπως οι ίδιοι υποστηρίζουν, επέλεξαν στη βασική έρευνα να εφαρμόσουν ερωτηματολόγιο ανοιχτών ερωτήσεων, το οποίο εξάλλου έχει εφαρμοστεί σε ανάλογες έρευνες (π.χ. Crawford & Cullin, 2004; Grosslight et al., 1991).

Παρομοίως, έχει υποστηριχτεί ότι η εφαρμογή ενός ερωτηματολογίου κλειστού τύπου είναι πιθανόν να επιτρέψει στους ερωτώμενους να δώσουν απαντήσεις ενημερωμένης γνώσης (high-level) για τα μοντέλα, βασιζόμενοι σε κάτι που έχουν ακούσει από κάπου, ή σε μία φήμη (Oliva & Blanco-López, 2021). Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου, οι Treagust et al. (2002) και οι Chittleborough et al. (2005) ανίχνευσαν μία σχετικά στέρεη κατανόηση των μαθητών β/θμιας εκπαίδευσης και φοιτητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση, ενώ μελέτες με παρόμοιους πληθυσμούς με έργα ανοιχτού τύπου βρήκαν ότι οι συμμετέχοντες διέθεταν αφελείς και επιφανειακές γνώσεις (π.χ Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014; Crawford & Cullin, 2005; Grosslight et al., 1991).

Επιπλέον, ένα άλλο ζήτημα σχηματισμού του ερευνητικού εργαλείου και το αν αυτό θα περιλαμβάνει κλειστές ή ανοιχτές ερωτήσεις προκύπτει από τη μετάφραση των ήδη δημοσιευμένων κλειστού τύπου έργων από τα αγγλικά σε άλλη γλώσσα, στην προκειμένη στα ελληνικά. Ένα από τα πιο γνωστά και συχνά εφαρμόσιμα ερωτηματολόγια κλειστού τύπου, ήταν αυτό που κατασκευάστηκε από τους Treagust et al. (2002). Το συγκεκριμένο χρησιμοποιήθηκε είτε αυτούσιο είτε με τροποποιήσεις σε διάφορες έρευνες (π.χ. Lazenby & Becker, 2021; Everett, Otto, & Luera, 2009; Cheng & Lin, 2015). Ωστόσο, η εφαρμογή του σε άλλο κοινωνικο-πολιτισμικά πλαίσια, π.χ. στα Ισπανικά, αποδείχθηκε προβληματική. Χαρακτηριστικά, «όσο περισσότερο διαφέρει η δομή δύο γλωσσών, τόσο πιο δύσκολο είναι να επιτευχθεί εννοιολογική ισοδυναμία» (Oliva & Blanco-López, 2021, σ. 859). Αυτό σημαίνει, ότι καθίσταται δύσκολο να γίνουν συγκρίσεις και γενίκευση των αποτελεσμάτων μεταξύ των ερευνών διαφορετικών χωρών, στην προκειμένη περίπτωση των ερευνών για τις αντιλήψεις στα μοντέλα και τη μοντελοποίηση μεταξύ αγγλόφωνων και ελληνόφωνων συμμετεχόντων.

Για όλους τους παραπάνω λόγους αποφασίστηκε στο ερωτηματολόγιο να συμπεριληφθούν έργα, κατά κύριο λόγο, ανοιχτού τύπου. Εξάλλου, σύμφωνα με την θεωρία της ερευνητικής μεθοδολογίας οι ερωτήσεις ανοιχτού τύπου έχουν πλεονεκτήματα όπως (Bryman, 2017; Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014):

(Α) οι ερωτώμενοι μπορούν να αναπτύξουν τις ιδέες τους με δικούς τους όρους χωρίς να είναι υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουν αυτούς που τους υπαγορεύονται στις ερωτήσεις κλειστού τύπου

(Β) δίνεται η ευκαιρία να ληφθούν απαντήσεις ασυνήθιστες, οι οποίες δεν έχουν μέχρι τώρα καταγραφεί στην βιβλιογραφία, ή δεν έχει συμπεριλάβει ο ερευνητής στις εναλλακτικές απαντήσεις προκαθορισμένης επιλογής

(Γ) μπορούν να αντληθούν πληροφορίες για τις αντιλήψεις των ερωτώμενων για διάφορα ζητήματα, αφού οι ερωτήσεις δεν υποδεικνύουν συγκεκριμένα είδη απάντησης στους ερωτώμενους

(Δ) είναι χρήσιμες για την εξερεύνηση νέων περιοχών έρευνας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ανάδειξης των αντιλήψεων μελλοντικών Νηπιαγωγών για τα μοντέλα, μιας και δεν βρέθηκε στην βιβλιογραφική επισκόπηση σχετική έρευνα

(Ε) είναι χρήσιμες για την διαμόρφωση απαντήσεων προκαθορισμένης επιλογής. Αυτό σημαίνει ότι, θα μπορούσε με βάση την συγκεκριμένη έρευνα, ως περαιτέρω ερευνητικό βήμα, να διαμορφωθεί ένα ερωτηματολόγιο με κλειστές ερωτήσεις. Επιπλέον, παρέχεται η ευκαιρία να διατυπωθούν με βελτιωμένο τρόπο οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου (Πετρίδου & Ψύλλος, 2008).

Βεβαίως οι ερωτήσεις ανοιχτού τύπου έχουν και μειονεκτήματα, όπως ότι η εφαρμογή τους απαιτεί αρκετή ποσότητα χρόνου για τους ερωτώμενους, πράγμα το οποίο ίσως προκαλέσει κούραση, με άμεση επίδραση στην ποιότητα των απαντήσεων (π.χ. οι απαντήσεις να είναι συνοπτικές ή μονολεκτικές) (Bryman, 2017). Αυτό το μειονέκτημα, επιχειρήσαμε να το αντιμετωπίσουμε με την χρήση περιορισμένου αριθμού έργων (βλέπε επίσης και Άξονας 1^{ος}).

Άξονας 4^{ος} : Μελέτη των έργων των εργαλείων συλλογής δεδομένων για τις αντιλήψεις περί μοντέλων και μοντελοποίησης

Έχοντας αποφασίσει τις όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης, για τις οποίες θα επιχειρηθεί η ανάδειξη των αντιλήψεων (άξονας 2^{ος}) , αλλά και τον τύπο των έργων που θα περιλαμβάνονται στο γραπτό ερωτηματολόγιο (άξονας 3^{ος}), η μελέτη της βιβλιογραφίας έγινε υπό το πρίσμα να μελετηθούν τα έργα που εφαρμόστηκαν στα εργαλεία συλλογής δεδομένων. Ειδικότερα, μελετήθηκαν ποια έργα χρησιμοποιήθηκαν ανά όψη και ειδικά ζητήματα-δυσκολίες που προέκυψαν. Παρακάτω, παρατίθενται τα σχετικά έργα, όπως χρησιμοποιήθηκαν σε παλαιότερες έρευνες ανάδειξης των αντιλήψεων για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση (Lazenby et al., 2020; Joolingen & Leenaars, 2019; Schwartz, 2019; Lee, Chang, & Wu, 2017; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017; Soulios & Psillos, 2016; Zoupidis et al., 2016; Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014; Σούλιος & Ψύλλος, 2013; Akerson, Colak, & Pongsanon, 2011; Σούλιος & Ψύλλος, 2011; Everett, Otto, & Luera, 2009; Πετρίδου & Ψύλλος, 2008; Windschitl & Thompson, 2006; Justi & van Driel, 2005 Crawford & Cullin, 2004; Cullin & Crowford, 2003; van Driel & Verloop, 2002; Grosslight et al., 1991).

<u>Όψη 1^{η}: Φύση των μοντέλων</u>

Αναφορικά με την πρώτη όψη, αυτή της φύσης των μοντέλων:

Α) ένα από τα πιο συχνά έργα το οποίο διατυπώνεται είτε σε συνεντεύξεις είτε σε ερωτηματολόγια, είναι τα ακόλουθα:

● *Τι είναι μοντέλο;* (zu Belzen, van Driel, & Krüger, 2019 ; Soulios & Psillos, 2016 ; Πετρίδου & Ψύλλος, 2008)

● *Τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τη λέξη μοντέλο; Δώσε μερικά παραδείγματα.* (Grosslight et al. 1991; Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017)

● *Γράψε μία πρόταση την πιο αντιπροσωπευτική για εσένα, που να περιλαμβάνει την λέξη «μοντέλο».* (Zoupidis et al., 2016; Ζουπίδης, 2012)

Με τέτοιου είδους έργα καλούνται οι συμμετέχοντες ελεύθερα να διατυπώσουν έναν ορισμό του μοντέλου, όπως αυτοί νομίζουν. Η ανάλυση των δεδομένων σε τέτοια έργα έδειξε ότι εντοπίστηκαν απαντήσεις, όπου εντοπίζεται συσχέτιση των μοντέλων με τομείς έξω από τις ΦΕ, π.χ. μοντέλο αυτοκινήτου, μία γυναίκα ή ένας άντρας που επιδεικνύει ρούχα οίκων μόδας (Zoupidis et al., 2016). Προκειμένου να αποφύγουμε τέτοιες απαντήσεις και με σκοπό να κατευθύνουμε τους συμμετέχοντες να επικεντρωθούν στα μοντέλα για τις ΦΕ, το συγκεκριμένο έργο (Ερώτηση 1 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α). διατυπώθηκε ως εξής (Crawford & Cullin, 2004; Grosslight et al., 1991):

Τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τη λέξη «μοντέλο» στις Φυσικές Επιστήμες; Να δώσεις ένα ή δύο παραδείγματα.

Β) Επιπλέον, σε αρκετές έρευνες (π.χ. Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016; Everett, Otto, & Luera, 2009; Schwarz & White, 2005; Grosslight et al. 1991) εντοπίσαμε ένα έργο κλειστού τύπου, σύμφωνα με το οποίο δίνεται μία λίστα πιθανών μοντέλων στους ερωτώμενους, οι οποίοι καλούνται να κυκλώσουν ποιο ή ποια από τα δοθέντα αποτελούν για αυτούς μοντέλα ή όχι. Ένας από τους στόχους αυτού του έργου είναι να διερευνηθεί αν οι συμμετέχοντες αποδίδουν σε ένα μοντέλο μόνο υλιστικά χαρακτηριστικά (δηλαδή ότι ένα μοντέλο φτιάχνεται από πραγματικά υλικά) ή, αντιθέτως δέχονται ως μοντέλα και πιο θεωρητικές κατασκευές, όπως π.χ. ένα λεκτικό κανόνα (Ενότητα 1.4) (Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016).

Προκειμένου λοιπόν να διαπιστώσουμε αν και οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί προσχολικής και πρωτοσχολικής εκπαίδευσης έχουν ανάλογες αντιλήψεις, σχεδιάστηκε το παρακάτω έργο (Ερώτηση 6 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α):

Ποιο ή ποια από τα παρακάτω πιστεύεις ότι είναι μοντέλα; Να κυκλώσεις αυτά που νομίζεις ότι είναι μοντέλα.

Α. μία αποτύπωση ενός αντικειμένου/φαινομένου πάνω σε χαρτί (σκίτσο)

Β. ένα πλαστικό αυτί (πρόπλασμα)

Γ. μία μαθηματική εξίσωση (π.χ. F=m·a (δύναμη = μάζα · επιτάχυνση)

Δ. η πρόταση «Όταν η πυκνότητα ενός αντικειμένου είναι λιγότερη από τη πυκνότητα ενός υγρού το αντικείμενο επιπλέει».

Ε. Μία προσομοίωση στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ενός φαινομένου, πχ η κίνηση μίας πέτρας στο νερό

ΣΤ. Η υδρόγειος σφαίρα

Από τις παραπάνω επιλογές, οι επιλογές Α και Ε αφορούν παραδείγματα στατικών και δυναμικών οπτικών μοντέλων αντίστοιχα, η επιλογή Β και ΣΤ χειροπιαστών στατικών και δυναμικών μοντέλων αντιστοίχως και οι επιλογές Γ και Δ μαθηματικά και λεκτικά μοντέλα. Στο συγκεκριμένο έργο δεν αποτελεί ζητούμενο οι φοιτητές να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους για δύο λόγους: (α) είναι πολύ πιθανό να προκληθεί το αίσθημα της κόπωσης αιτιολογώντας την κάθε μία από τις οκτώ επιλογές τους, (β) από τις επιλογές τους και μόνο είναι δυνατό να αντιληφθούμε το αν οι φοιτητές δίνουν στα μοντέλα υλιστικά χαρακτηριστικά ή όχι, το οποίο είναι ο σκοπός που σχεδιάστηκε το συγκεκριμένο έργο.

Είναι χρήσιμο να σημειώσουμε ότι το συγκεκριμένο έργο στο ερωτηματολόγιο διατυπώθηκε προτελευταίο. Στην αρχική εκδοχή του ερωτηματολογίου η ερώτηση ήταν δεύτερη μετά την ερώτηση περί ορισμού του μοντέλου. Όταν μοιράστηκε το ερωτηματολόγιο δοκιμαστικά σε τέσσερις φοιτητές του τρίτου έτους, δήλωσαν ότι η συγκεκριμένη ερώτηση τους επηρέασε στην απάντηση τους στο 1^{ο} έργο. Για το λόγο αυτό, το συγκεκριμένο έργο, τοποθετήθηκε 6^{ο} στη σειρά ώστε να τοποθετηθεί στην δεύτερη σελίδα του ερωτηματολογίου, με στόχο να μην επηρεαστούν οι συμμετέχοντες στις απαντήσεις τους.

Γ) Επιπλέον, σύμφωνα με τη βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με τις αντιλήψεις για τα μοντέλα, διαπιστώθηκε ότι γενικά, οι συμμετέχοντες ενώ θεωρούν ότι ένα μοντέλο δεν είναι πιστή αναπαράσταση ενός στόχου, εντούτοις θεωρούν ότι πρέπει να μοιάζει σημαντικά με αυτό που αναπαριστά (π.χ. Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016). Θεωρούμε ότι έχει αξία να διερευνηθεί αν οι φοιτητές /τριες της έρευνάς

μας έχουν την ίδια άποψη. Οι σχετικές ερωτήσεις ανοιχτού τύπου που βρήκαμε στη βιβλιογραφία διατυπώνονται ως εξής:

● *Περίγραψε τον βαθμό στον οποίο ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο* (Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014).

● *Ποια είναι η σχέση μεταξύ του μοντέλου και του πραγματικού αντικειμένου;* (Akerson, Colak, & Pongsanon, 2011*;* Windschitl & Thompson, 2006)

● *Με πόση μεγάλη ακρίβεια πρέπει ένα επιστημονικό μοντέλο να αναπαριστά την πραγματικότητα;* (Soulios & Psillos, 2016)

● *Πρέπει ένα επιστημονικό μοντέλο να αναπαριστά την πραγματικότητα με όσο το δυνατό περισσότερη ακρίβεια; Γιατί;* (Σούλιος & Ψύλλος, 2013)

Στην διατύπωση των Soulios & Psillos, (2016) και Σούλιος & Ψύλλος, (2013) εμπεριέχεται η λέξη *αναπαράσταση* και θεωρήσαμε ότι μπορεί να την χρησιμοποιήσουν οι ερωτώμενοι προκειμένου να διατυπώσουν έναν ορισμό για τα μοντέλα, το οποίο ζητείται σε προηγούμενο έργο. Επιπλέον, θεωρήσαμε ότι η διατύπωση των Windschitl & Thompson, (2006) και Akerson, Colak, & Pongsanon, (2011) πιθανώς να προκαλέσει ζητήματα σαφήνειας στους ερωτώμενους. Για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιήθηκε το έργο των Grünkorn, zu Belzen, & Krüger (2014) στο οποίο είναι ζητούμενο με πιο ρητό τρόπο η σχέση μεταξύ μοντέλου και στόχου ως προς την ομοιότητα. Παράλληλα, στο συγκεκριμένο έργο προσθέσαμε την δυνατότητα οι συμμετέχοντες να διατυπώσουν και ένα παράδειγμα για την επιχειρηματολογία τους. Έτσι, το σχετικό έργο διατυπώθηκε ως εξής (Ερώτηση 2 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α):

Να περιγράψεις τον βαθμό στον οποίο ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο. Αν σε βοηθάει, να αιτιολογήσεις την άποψή σου χρησιμοποιώντας σχετικά παραδείγματα.

Δ) Αναφορικά με την πολλαπλότητα των μοντέλων, οι ερωτήσεις που έχουν διατυπωθεί μέχρι τώρα σε σχετικές έρευνες, έχουν την μορφή:

● *Πιστεύετε ότι δύο επιστήμονες θα μπορούσαν να βρουν δύο διαφορετικά μοντέλα για την ίδια παρατήρηση στον πραγματικό κόσμο;* (Lazenby et al., 2020; Σούλιος & Ψύλλος, 2013)

● *Γιατί πιστεύετε ότι δύο επιστήμονες (θα μπορούσαν ή δεν μπορούσαν) να καταλήξουν σε διαφορετικά μοντέλα για την ίδια παρατήρηση στον πραγματικό κόσμο; (Lazenby et al., 2020)*

● *Νομίζεις πως οι επιστήμονες θα χρησιμοποιούσαν ποτέ παραπάνω από ένα μοντέλα για το ίδιο πράγμα;* (Grosslight et al., 1991 ; Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016).

● *Εξηγήστε γιατί υπάρχουν πολλά μοντέλα για ένα πρωτότυπο.* (Grünkorn, zu Belzen, & Krüger, 2014).

● *Μπορεί να υπάρξουν δυο διαφορετικά επιστημονικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο; Γιατί;* (Σούλιος & Ψύλλος, 2013; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017)

Στο ερωτηματολόγιο της παρούσας εργασίας, το έργο σχεδιάστηκε έτσι ώστε οι ερωτώμενοι να εξηγήσουν την πολλαπλότητα των μοντέλων, με αφετηρία την παραδοχή ότι υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοντέλα για τον ίδιο στόχο (δεύτερο και τέταρτο bullet των παραπάνω ερωτήσεων). Αυτό έγινε ώστε να αποφευχθεί οι ερωτώμενοι σε μία πιθανή διατύπωση του πρώτου και τρίτου bullet να απαντήσουν μονολεκτικά με ένα ΝΑΙ ή ΟΧΙ χωρίς να αιτιολογήσουν, όπως παρατηρήθηκε σε προηγούμενες έρευνες (π.χ. Πετρίδου & Ψύλλος, 2008). Με αυτή μας την κατεύθυνση, θεωρήσαμε ότι περισσότερη αξία έχει να διερευνηθεί γιατί οι συμμετέχοντες νομίζουν ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο, παρά το αν νομίζουν ή δεν νομίζουν ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα για τον ίδιο στόχο. Εξάλλου, σύμφωνα με τα ευρήματα για τις αντιλήψεις σχετικά με την πολλαπλότητα ων μοντέλων, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μελλοντικών εκπαιδευτικών της Α/θμιας εκπαίδευσης αναγνωρίζουν ότι οι επιστήμονες μπορεί να χρησιμοποιούν πολλαπλά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο, στόχο, ή διαδικασία, αλλά δυσκολεύονται να διατυπώσουν μία αιτιολογία (π.χ. Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016). Το σχετικό έργο, λοιπόν, στην παρούσα εργασία διατυπώθηκε ως εξής (Ερώτηση 3 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α):

> *Γιατί κατά τη γνώμη σου οι επιστήμονες χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερα διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;. Αν σε βοηθάει, να αιτιολογήσεις την άποψή σου χρησιμοποιώντας σχετικά παραδείγματα.*

Όψη 2η : φύση της μοντελοποίησης

Στη βιβλιογραφία αναγνωρίζεται ότι η διερεύνηση των αντιλήψεων για την μοντελοποίηση είναι λιγότερο συχνή σε σχέση με τις υπόλοιπες όψεις (Lazenby et al., 2020). Αντίθετα, το επίκεντρο πέφτει πιο πολύ στην ανάδειξη των αντιλήψεων για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων. Ίσως αυτό να οφείλεται στο γεγονός, ότι τα δεδομένα για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων, μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ώστε να εξαχθούν έμμεσα συμπεράσματα για τις αντιλήψεις για την μοντελοποίηση. Για παράδειγμα, αν ένας ερωτώμενος σε ένα έργο του τύπου «σε ποιο βαθμό πρέπει ένα μοντέλο να μοιάζει με το πραγματικό αντικείμενο» απαντήσει «σε μεγάλο βαθμό», μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο συγκεκριμένος ερωτώμενος είναι πιθανό να θεωρεί ότι η μοντελοποίηση γίνεται με στόχο να μοιάζει το μοντέλο όσο το δυνατό περισσότερο με αυτό που αναπαριστά.

Στην δική μας έρευνα, προτιμήσαμε να σχεδιάσουμε ξεχωριστό έργο ανάδειξης των αντιλήψεων για τη μοντελοποίηση, ώστε αφενός να εμπλουτίσουμε την βιβλιογραφία και αφετέρου να βγουν ασφαλέστερα συμπεράσματα για τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων. Τα σχετικά έργα που εντοπίσαμε διατυπώνονται ως εξής:

● *Πώς νομίζεις ότι κατασκευάζονται τα μοντέλα*; (Lazenby et al., 2020)

● *Τι θα πρέπει να λάβεις υπόψη σου, προκειμένου να κατασκευάσεις ένα μοντέλο;* (Everett, Otto, & Luera, 2009; Crawford & Cullin, 2004; Grosslight et al., 1991)

● *Ποιες πληροφορίες νομίζεις ότι πρέπει να περιλαμβάνονται σε ένα μοντέλο;* (Lee, Chang, & Wu, 2017)

Από τις ερωτήσεις αυτές και λαμβάνοντας υπόψη την ελλιπή βιβλιογραφία, προτιμήσαμε την πρώτη διατύπωση. Ο λόγος είναι ότι όπως είναι διατυπωμένη αφήνει τους ερωτώμενους να εκφράσουν την άποψη τους ελεύθερα, χωρίς να επικεντρωθούν στοχευμένα σε αυτά που πρέπει να λάβουν υπόψη τους (δεύτερη ερώτηση) ή στις πληροφορίες που πρέπει να περιλαμβάνονται σε ένα μοντέλο (τρίτη διατύπωση). Επιπλέον, για την πρώτη ερώτηση έχουν σχεδιαστεί τα επίπεδα ανάλυσης, σε αντίθεση με τις άλλες δύο διατυπώσεις, για τις οποίες η παράθεση των αποτελεσμάτων από τους ερευνητές είναι πιο περιγραφική. Έτσι, το έργο που διατυπώθηκε είναι (Ερώτηση 4 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α):

Πώς νομίζεις ότι κατασκευάζονται τα μοντέλα;

Όψη 3η: Σκοπός των μοντέλων

Αναφορικά με τον σκοπό των μοντέλων, το έργο που διατυπώνεται πιο συχνά στις περισσότερες έρευνες που χρησιμοποιούν ερωτηματολόγια ανοιχτού τύπου είναι:

● *Ποιος είναι ο σκοπός των επιστημονικών μοντέλων*; (Schwartz, 2019; zu Belzen, van Driel, & Krüger, 2019; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017; Grünkorn, zu Belzen, &

Krüger, 2014; Everett, Otto, & Luera, 2009; Πετρίδου & Ψύλλος, 2008; Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991; Soulios & Psillos, 2016)

Μιας και αυτό το έργο περιλαμβάνεται τόσο συχνά στις σχετικές έρευνες ανάδειξης των αντιλήψεων για τα μοντέλα, προσανατολιστήκαμε στο να το συμπεριλάβουμε στη γραπτό μας ερωτηματολόγιο. Η τροποποίηση που κάναμε ήταν να μην εμπεριέχεται ο όρος «επιστημονικό μοντέλο» στην διατύπωση της ερώτησης, αλλά να αντικατασταθεί απλά από τον όρο «μοντέλα». Αυτή η αλλαγή έγινε γιατί θεωρούμε ότι «το επιστημονικό μοντέλο» αποτελεί άγνωστο όρο για τους φοιτητές/τριες της έρευνάς μας, οι οποίοι δεν έχουν μεγάλη εμπειρία περί μοντέλων και μοντελοποίησης. Έτσι το έργο, διατυπώθηκε ως εξής (Ερώτηση 5 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α):

Ποιος νομίζεις ότι είναι ο σκοπός των μοντέλων;

Όψη 4η: Αξιολόγηση - Αλλαγή του μοντέλου

Η συγκεκριμένη όψη όπως προαναφέρθηκε δεν εντοπίστηκε στο Πρόγραμμα Σπουδών ΦΕ του Νηπιαγωγείου, αλλά στο αντίστοιχο του Δημοτικού, και μάλιστα σε αυτήν την πρακτική οι μαθητές εκπαιδεύονται από τις πρώτες τάξεις, ήδη από την Β΄ τάξη. Ειδικότερα, όσο αφορά αυτήν όψη του μοντέλου η οποία περιλαμβάνει αν ένα μοντέλο και υπό ποιες προϋποθέσεις αλλάζει, οι σχετικές διατυπώσεις από τη βιβλιογραφία είναι:

● *Είναι δυνατό (ένας επιστήμονας) να αλλάξει ένα μοντέλο; Αν ναι, πότε συμβαίνει αυτό;* (Yenilmez Turkoglu & Oztekin, 2016; Σούλιος & Ψύλλος, 2013; Σούλιος & Ψύλλος, 2011)

● *Μπορεί ένα μοντέλο να ελεγχθεί ή να μπει σε δοκιμασία για το αν συμπεριφέρεται σύμφωνα με τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε;* (Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017)

● *Με ποιον τρόπο νομίζεις οι επιστήμονες αποφασίζουν για το αν ένα μοντέλο είναι καλό ή όχι;* (Lazenby et al., 2020)

● *Νομίζεις ότι από την στιγμή που ένας επιστήμονας αναπτύξει ένα μοντέλο, είναι δυνατό αυτό να αλλάξει; Γιατί νομίζεις ότι οι επιστήμονες αλλάζουν ή δεν αλλάζουν τα μοντέλα τους;* (Lazenby et al., 2020)

Στην έρευνά τους οι Πετρίδου & Ψύλλος (2008) διαπίστωσαν ότι υπήρχε ένας αριθμός φοιτητών Παιδαγωγικού Τμήματος, που υποστήριξε ότι ένα μοντέλο δεν αλλάζει. Για να ελέγξουμε αν οι φοιτητές/τριες της δικής μας έρευνας έχουν

παρόμοια άποψη, αποφασίσαμε να συμπεριλάβουμε μία ερώτηση του τύπου «νομίζεις ότι ένα μοντέλο αλλάζει;» συνοδευόμενη με μια δικαιολόγηση (Lazenby et al., 2020). Συγκεκριμένα, το έργο διατυπώθηκε ως εξής (Ερώτηση 7 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α):

Νομίζεις ότι από την στιγμή που ένας επιστήμονας αναπτύξει ένα μοντέλο, είναι δυνατό αυτό να αλλάξει; Γιατί νομίζεις ότι οι επιστήμονες αλλάζουν ή δεν αλλάζουν τα μοντέλα τους;

Με την παραπάνω διατύπωση θεωρούμε ότι καλύπτεται και το ζήτημα της ανάδειξης των αντιλήψεων περί αξιολόγησης των μοντέλων, μέσω του δεύτερου σκέλους του έργου (Γιατί νομίζεις οι επιστήμονες αλλάζουν τα μοντέλα τους;).

Στο παράρτημα Α φαίνεται το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους φοιτητές/τριες του δείγματος.

2.3 Το δείγμα

Το δείγμα της έρευνας συγκροτείται από φοιτητές / τριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών και Δημοτικής Εκπαίδευσης Φλώρινας. Ειδικότερα, και όσο αφορά την πρώτη ομάδα, στην έρευνα πήραν μέρος 117 άτομα, εκ των οποίων 101 ήταν γυναίκες (περίπου 86%). Όλοι οι συμμετέχοντες, που στην πλειοψηφία τους (78 στον αριθμό – περίπου το 67% των συμμετεχόντων) προέρχονταν από την Κατεύθυνση των Θεωρητικών Σπουδών στο Λύκειο, διέτρεχαν το πρώτο έτος σπουδών. Την στιγμή που συλλέχθηκαν τα δεδομένα, ολοκλήρωναν το πρώτο εξάμηνο σπουδών, κατά την διάρκεια του οποίου, σύμφωνα με το πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος, δεν είχαν παρακολουθήσει κάποιο μάθημα με περιεχόμενο που να σχετίζεται με τα μοντέλα και την μοντελοποίηση. Ωστόσο, είναι χρήσιμο να τονιστεί ότι ο διδάσκων του μαθήματος του α΄ εξαμήνου «Έννοιες Φυσικών Επιστημών και οι Αναπαραστάσεις τους» χρησιμοποιούσε κατά την διάρκεια των μαθημάτων τον όρο «μοντέλο», π.χ. «ατομικό μοντέλο του Bohr», όπως μας ενημέρωσε σε κατ' ιδίαν συζήτηση.

Αναφορικά με τους συμμετέχοντες που προέρχονταν από το Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, αυτοί είναι πρωτοετείς και τριτοετείς φοιτητές/τριες. Οι πρώτοι ήταν 80 στον αριθμό (51 γυναίκες – περίπου 64%) από τους οποίους οι 39 προέρχονταν από την Θεωρητική Κατεύθυνση του Λυκείου (περίπου 50 %). Οι τριτοετείς φοιτητές/τριες ήταν 61 στον αριθμό (42 γυναίκες – περίπου 70%), από τους οποίους οι 47 (περίπου 67%) προέρχονταν από την Θεωρητική Κατεύθυνση του Λυκείου. Σε αντίθεση με τους πρωτοετείς, οι φοιτητές/τριες του τρίτου έτους είχαν ακούσει περί μοντέλων σε δύο μαθήματα του πρώτου (εαρινό εξάμηνο) και δευτέρου έτους

αντίστοιχα: στο μάθημα «Οι έννοιες της Φυσικής και οι Αναπαραστάσεις τους» και στο μάθημα της «Διδακτικής της Φυσικής». Ειδικότερα, στο πρώτο μάθημα ο όρος «μοντέλο» χρησιμοποιήθηκε από τον διδάσκοντα στην περιγραφή των ιδεών των μαθητών για έννοιες της Φυσικής (π.χ. μονοπολικό μοντέλο των ιδεών των μαθητών για το ηλεκτρικό ρεύμα, μοντέλο του συνωστισμένου πλήθους για την υδροστατική πίεση) αλλά και για τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της πλεύσης – βύθισης ενός σώματος (π.χ. μοντέλο με τις τελίτσες) (Ζουπίδης, 2012). Στη συγκεκριμένη ενότητα τα μοντέλα εισήχθησαν ως «εργαλεία αναπαράστασης μίας έννοιας, ενός συστήματος, ενός φαινομένου, ενός αντικειμένου, μίας διαδικασίας που επικεντρώνονται σε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του στόχου που καλούνται να αναπαραστήσουν και έχουν ως χρησιμότητα την ανάπτυξη κατανόησης, την επικοινωνία της γνώσης και την πρόβλεψη της ροής μίας διαδικασίας». Στο μάθημα «Διδακτικής της Φυσικής» η διδάσκουσα χρησιμοποιούσε με μεγάλη συχνότητα τον όρο «μοντέλο» στην περιγραφή των διαφορετικών προσεγγίσεων στην διδασκαλία π.χ. διδακτικό μοντέλο της εποικοδομητικής προσέγγισης, διερευνητικό μοντέλο διδασκαλίας κτλ.

Από την περιγραφή του δείγματος προκύπτει ότι οι συμμετέχοντες από το Τμήμα Νηπιαγωγών προέρχονται μόνο από το 1ο έτος σε αντίθεση με τους συμμετέχοντες από το Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης που προέρχονται τόσο από το 1ο έτος όσο και από το 3ο. Αυτό έγινε επειδή λάβαμε υπόψη ότι στο Τμήμα Νηπιαγωγών οι φοιτητές δεν διδάσκονται για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση σε κάποιο μάθημα Φυσικής ή Διδακτικής της Φυσικής, οπότε θεωρήθηκε ότι δεν θα υπάρχει σημαντική διαφορά στις απόψεις τους σε όποιο έτος φοίτησης και εάν βρίσκονταν.

2.4 Η μέθοδος ανάλυσης περιεχομένου ως μέθοδος ανάλυσης δεδομένων

Για την ανάλυση των αντιλήψεων των συμμετεχόντων εφαρμόστηκε η ποιοτική μέθοδος ανάλυσης περιεχομένου (content analysis). Πρόκειται για μία ερευνητική τεχνική που επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω αντικειμενικού εντοπισμού καθορισμένων χαρακτηριστικών μέσα από κείμενα ή άλλο επικοινωνιακό υλικό σχετικά με το «πώς» και το «γιατί», οι συμμετέχοντες σε μία έρευνα αντιλαμβάνονται τις υπό εξέταση καταστάσεις και φαινόμενα (Bryman, 2017).

Η ανάλυση περιεχομένου μπορεί να γίνει είτε παραγωγικά (top–down/ deductive), είτε επαγωγικά (bottom–up/inductive) είτε με απαγωγή (abduction) (Τσιώλης, 2015). Στην πρώτη περίπτωση, τα δεδομένα ταξινομούνται σε προσχεδιασμένες κατηγορίες, ενώ στην δεύτερη περίπτωση ο ερευνητής καλείται να αναγνωρίσει μέσα στα δεδομένα του τις αναδυόμενες κατηγορίες. Κατά την απαγωγή, οι νέες επιστημονικές ιδέες προκύπτουν ως αποτέλεσμα του συνδυασμού των παλαιών

γνώσεων και των νέων εμπειρικών δεδομένων. Ο απαγωγικός συλλογισμός αίρει τα μειονεκτήματα της παραγωγικής και επαγωγικής μεθόδου, αφού στην μεν πρώτη υποβαθμίζεται το γεγονός ότι η επιστημονική γνώση μπορεί να προκύψει από τα εμπειρικά δεδομένα, ενώ στην μεν δεύτερη παραβλέπεται η συνεισφορά του θεωρητικού πλαισίου στην εμπειρική παρατήρηση (Τσιώλης, 2015). Η απαγωγική μέθοδος ανάλυσης δεν «παράγει γνώση εκ του μηδενός, αλλά βασίζεται στις προηγούμενες γνώσεις του ερευνητή, τις οποίες στο φως των νέων εμπειρικών δεδομένων δοκιμάζει, μετασχηματίζει και ανανεώνει» (σελ. 15).

Τόσο το παραγωγικό όσο και το επαγωγικό και απαγωγικό υπόδειγμα αποτελούν πολυδιάστατες διαδικασίες, οι οποίες διέπονται από συγκεκριμένα βήματα (Elo & Kyngas, 2008; Τσιώλης, 2015). Αρχικά, μέσα στις γραπτές απαντήσεις (η μορφή των δεδομένων στην παρούσα εργασία) εντοπίζονται οι Μονάδες Νοήματος – ΜΝ (meaning units), οι οποίες είναι σύνολο λέξεων, φράσεων ή προτάσεων που σχετίζονται με το ίδιο κεντρικό νόημα (στην περίπτωση της εργασίας σχετίζονται με τις αντιλήψεις για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και τη μοντελοποίηση) (Graneheim & Lundman, 2004). Στη συνέχεια, ακολουθεί η κωδικοποίηση, η ομαδοποίηση και η κατηγοριοποίηση των ΜΝ μέσα από μία διαδικασία συνεχούς σύγκρισης των νοημάτων που αυτές μοιράζονται. Δηλαδή, αν δύο ή περισσότερες ΜΝ μοιράζονται κοινό νόημα ταξινομούνται σε μία κοινή κατηγορία, ειδάλλως σε διαφορετική. Στην επαγωγική μέθοδο, οι κατηγορίες προκύπτουν μέσα από τα δεδομένα, ενώ στην παραγωγική μέσα από το θεωρητικό πλαίσιο. Στην απαγωγική μέθοδο οι κατηγορίες προκύπτουν μέσα από τα δεδομένα μεν, ωστόσο, λαμβάνεται υπόψη το θεωρητικό πλαίσιο που έχει δομηθεί από προηγούμενες ανάλογες έρευνες. Επιπρόσθετα, είναι δυνατόν οι παραπάνω διαδικασίες να συμπεριλάβουν την αριθμητική μέτρηση των ΜΝ που συγκροτούν μία κατηγορία ώστε να διακριθεί «το σημαντικό από το ασήμαντο» (Ιωσηφίδης, 2008, σ. 288). Επιπλέον, σε έρευνες που εφαρμόζεται η ανάλυση περιεχομένου, τα τελικά συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν μέσα από επίπεδα ανάλυσης και όχι από κατηγορίες. Οι ΜΝ, των οποίων το νόημα είναι πιο κοντά στην επιστημονική άποψη ταξινομούνται στα ανώτερα, ιεραρχικά επίπεδα, ενώ οι ΜΝ με νόημα μακριά από την επιστημονική άποψη, περιλαμβάνονται στα κατώτερα επίπεδα.

2.4.1. Βιβλιογραφικές μέθοδοι ανάλυσης αντιλήψεων για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης

Στη βιβλιογραφία ανάδειξης ιδεών για τα μοντέλα, οι ιδέες των συμμετεχόντων ταξινομούνται είτε σε επίπεδα ανάλυσης, ανάλογα με τον βαθμό με τον οποίο αποκλίνουν από την επιστημονική άποψη, είτε σε κατηγορίες. Αναφορικά με τα επίπεδα ανάλυσης, τα επίπεδα αυτά μπορεί να είναι τρία (π.χ. Grosslight et al.,

1991; Πετρίδου & Ψύλλος, 2008) ή τέσσερα (π.χ. Crawford & Cullin, 2005; Lazenby et al., 2020).

Σε μία προσπάθεια να συγκριθούν οι ταξινομήσεις των ιδεών για τα μοντέλα στα επίπεδα μεταξύ των ερευνητικών ομάδων, οι Lazenby et al. (2020) κατασκεύασαν έναν πίνακα που αποτελείται από έξι στήλες, εκ των οποίων η πρώτη αριστερά περιλαμβάνει την ξεχωριστή όψη του περιεχομένου των μοντέλων, η δεύτερη την εκάστοτε ερευνητική ομάδα και οι υπόλοιπες τέσσερις στήλες τα επίπεδα ταξινόμησης των ιδεών για τα μοντέλα (Παράρτημα Β). Ο πίνακας αφορά στις ιδέες αναφορικά με τις όψεις των μοντέλων και ειδικότερα με αυτές που σχετίζονται με την φύση των μοντέλων, την δυνατότητα αλλαγής τους, την πολλαπλότητα και την μοντελοποίηση. Στον πίνακα αυτό, με πλάγια γράμματα γράφονται επιπρόσθετα οι προτάσεις δόμησης των επιπέδων από άλλες ερευνητικές ομάδες, οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στη σχετική βιβλιογραφική επισκόπηση των Lazenby et al. (2020).

Μπορούμε να συμπεράνουμε για τα επίπεδα ανάλυσης 1 και 2 (Παράρτημα Β) ότι γενικά περιλαμβάνουν αντιλήψεις που βρίσκονται μακριά από την επιστημονική άποψη, όπως για παράδειγμα ότι τα μοντέλα αποτελούν αντίγραφα του στόχου που αναπαριστούν, ή ότι τα μοντέλα δεν αλλάζουν. Οι αντιλήψεις των επιπέδων 3 και 4 (Παράρτημα Β) προσιδιάζουν την επιστημονική άποψη, με την διαφορά ότι στον μεν επίπεδο 3 ταξινομούνται αντιλήψεις που επικεντρώνονται ιδιαίτερα στα δεδομένα για την κατασκευή ενός μοντέλου παρά στον βασικό ρόλο του επιστήμονα αναφορικά με το πώς ο ίδιος ερμηνεύει τα νέα δεδομένα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της αλλαγής των μοντέλων, στο ανώτερο επίπεδο κατανόησης τοποθετείται μία αντίληψη κατά την οποία τονίζεται η σημασία της ερμηνείας που δίνει ο μοντελιστής στα δεδομένα. Αντίθετα, μία αντίληψη στο πιο χαμηλό από το ανώτερο επίπεδο, θέλει τα μοντέλα να αλλάζουν απλά και μόνο επειδή προκύπτουν νέα δεδομένα.

Εκτός από τον σχηματισμό επιπέδων ανάλυσης, στη βιβλιογραφία εντοπίζεται και μία άλλη προσέγγιση ανάλυσης των αντιλήψεων, αυτή που βασίζεται *στον σχηματισμό κατηγοριών* των αντιλήψεων για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και όχι σε επίπεδα ανάλυσης. Για παράδειγμα, οι Turkoglu & Oztekin (2015) χρησιμοποιώντας ως ερευνητικά εργαλεία γραπτό ερωτηματολόγιο και ημιδομημένες συνεντεύξεις ανέλυσαν τα δεδομένα τους εφαρμόζοντας την ποιοτική μέθοδο ανάλυσης, σύμφωνα με την οποία οι απαντήσεις μελλοντικών εκπαιδευτικών ΦΕ κωδικοποιήθηκαν και ομαδοποιήθηκαν σε κατηγορίες με κριτήριο αν μοιράζονται κοινό νόημα ή όχι. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή σχηματίστηκαν οι παρακάτω κατηγορίες:

- για τον ορισμό του μοντέλου

(α) μοντέλα ως πιστά αντίγραφα

(β) μοντέλα ως αναπαραστάσεις

(γ) μοντέλα ως εργαλεία ανάπτυξης εξηγήσεων

● για τον ρόλο των μοντέλων ως εργαλεία:

(α) ανάπτυξης κατανόησης επειδή (i) απλοποιούν, (ii) επιτρέπουν τη συλλογή πληροφοριών για μη προσβάσιμους στόχους, (iii) διευκολύνουν τον νου να δημιουργήσει εικόνες για αφηρημένες έννοιες,

(β) που συνεισφέρουν στην πρόοδο της επιστημονικής γνώσης

● για την φύση των επιστημονικών μοντέλων, που περιλαμβάνει

(α) την υποκειμενική (π.χ. η δημιουργία ενός μοντέλου επηρεάζεται από τις προσωπικές προσδοκίες ενός επιστήμονα)

(β) την εμπειρική (π.χ. για την αποδοχή ενός μοντέλου χρειάζεται αυτό να βασίζεται σε εμπειρικά δεδομένα)

(γ) την δυναμική (π.χ. τα μοντέλα υπόκεινται σε αλλαγές)

(δ) την δημιουργική (η δημιουργικότητα και η εφευρετικότητα είναι σημαντικοί παράμετροι στην κατασκευή ενός μοντέλου)

(ε) την κοινωνική και πολιτισμική ενσωμάτωση των μοντέλων (π.χ. τα πιστεύω ενός επιστήμονα όπως διαμορφώνονται από την κοινωνικό-πολιτισμικό περιβάλλον όπου εργάζεται επηρεάζουν αν ο ίδιος πρόκειται ή όχι να αποδεχτεί ένα μοντέλο).

Πάντως οποιαδήποτε και αν είναι η προσέγγιση της ανάλυσης (είτε αυτή αφορά επίπεδα ανάλυσης, είτε κατηγορίες), η μέθοδος της ανάλυσης είναι παρόμοια. Δηλαδή διαβάζονται οι απαντήσεις, αποδίδονται σε αυτές κώδικες, και είτε σχηματίζονται επίπεδα ανάλυσης είτε κατηγορίες. Στη συνέχεια, οι ερευνητές συγκρίνουν τα ευρήματά τους με τα ευρήματα προγενέστερων σχετικών ερευνών, παρέχουν ερμηνείες και καταλήγουν σε συμπεράσματα (π.χ. Van Driel & Verloop, 2002).

2.5 Ανάλυση των δεδομένων της έρευνας

Για την ανάλυση των αντιλήψεων των φοιτητών/τριών της παρούσας έρευνας για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε η απαγωγική μέθοδος ανάλυσης. Όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενη ενότητα (Ενότητα 4) στη συγκεκριμένη μέθοδο αναλύονται τα δεδομένα υπό το πρίσμα και των προηγούμενων σχετικών

ευρημάτων (Ενότητα 2.4.1) κάτι που παραβλέπεται στην επαγωγική μέθοδο. Επιπλέον, ενώ η παραγωγική μέθοδος στηρίζεται σε προηγούμενα βιβλιογραφικά δεδομένα, προτιμήθηκε να μην γίνει η ανάλυση δεδομένων με βάση αυτή τη μέθοδο, λόγω της ιδιομορφίας του δείγματος. Το δείγμα της παρούσας έρευνας περιλαμβάνει φοιτητές/τριες Προσχολικής Εκπαίδευσης (δεν εντοπίστηκαν έρευνες με τέτοιο δείγμα στη βιβλιογραφία ανάδειξης ιδεών για τα μοντέλα) και Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι είχαν ακούσει περιεχόμενο σχετικό με τα μοντέλα κατά την διάρκεια των ακαδημαϊκών Σπουδών (που επίσης δεν βρέθηκε ανάλογη εργασία). Επιπλέον, προτιμήθηκε τα αποτελέσματα της έρευνας να αναλυθούν υπό το πρίσμα των κατηγοριών και όχι των επιπέδων ανάλυσης. Υποθέτουμε, λαμβάνοντας υπόψη τα ευρήματα άλλων ερευνών ανάδειξης των ιδεών περί μοντέλων, ότι οι αντιλήψεις των συμμετεχόντων της έρευνας θα ταξινομηθούν στα κατώτερα επίπεδα. Αυτό που θεωρούμε ότι έχει αξία να ερευνηθεί είναι τι αντιλαμβάνονται οι συμμετέχοντες και ποια είναι η κυρίαρχη ιδέα που επικρατεί για την κάθε όψη του περιεχομένου των μοντέλων, μέσω των σχηματισμένων κατηγοριών, και όχι να εξαχθεί ένα αναμενόμενο εύρημα του τύπου «οι αντιλήψεις των φοιτητών/τριών Προσχολικής και Δημοτικής Εκπαίδευσης ταξινομούνται τα κατώτερα επίπεδα».

Η επιλογή να ακολουθήσουμε την απαγωγική μέθοδο ανάλυσης, εξάλλου, λειτούργησε βοηθητικά ώστε να αναγνωριστούν οι Μονάδες Νοήματος (ΜΝ) στις απαντήσεις των συμμετεχόντων με τον εξής τρόπο. Ήδη, πριν διαβαστούν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων, μελετήθηκαν τα επίπεδα ανάλυσης με τις αντίστοιχες κατηγορίες, όπως αυτά σχηματίστηκαν από προηγούμενες έρευνες (βλέπε Πίνακα Παράρτημα Β). Στη συνέχεια διαβάστηκαν οι απαντήσεις των συμμετεχόντων, στις οποίες εντοπίστηκαν οι Μονάδες Νοήματος, οι οποίες ομαδοποιήθηκαν και σχημάτισαν δικές τους κατηγορίες ανάλογα αν μοιράζονται κοινό νόημα ή όχι, όπως προστάζει η απαγωγική μέθοδος ανάλυσης. Σε αυτήν την διαδικασία όμως ταυτόχρονα λήφθηκαν υπόψη οι σχηματισμένες από τη βιβλιογραφία κατηγορίες ιδεών. Για παράδειγμα, ένας συμμετέχων έγραψε για τον σκοπό των μοντέλων:

(Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα) *για να συμπληρώσουν, επιβεβαιώσουν και να κάνουν κατανοητή στο ευρύ κοινό τη θεωρία τους.*

Σύμφωνα με τα επίπεδα του πίνακα (Παράρτημα Β), στη σχετική βιβλιογραφία έχει καταγραφεί η ιδέα οι συμμετέχοντες να θεωρούν τα μοντέλα χρήσιμα για την επικοινωνία της γνώσης ή/και για την ανάπτυξη/δοκιμασία ιδεών. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το εύρημα, στην παραπάνω απάντηση ξεχώρισαν δύο Μονάδες Νοήματος:

ΜΝ1: Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα για να συμπληρώσουν, να επιβεβαιώσουν τη θεωρία τους.

ΜΝ2: Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα για να κάνουν κατανοητή στο ευρύ κοινό τη θεωρία τους.

Από τις παραπάνω ΜΝ, η ΜΝ1 ταξινομήθηκε στην κατηγορία *Ανάπτυξη/δοκιμασία ιδεών* και η ΜΝ2 στην κατηγορία *Επικοινωνία της γνώσης.* Τόσο η ανάπτυξη/δοκιμασία ιδεών όσο και η επικοινωνία της γνώσης αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία ως δύο από τις βασικές χρησιμότητες των μοντέλων για τους επιστήμονες των ΦΕ.

2.6 Κατηγορίες Ανάλυσης

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης των αντιλήψεων των συμμετεχόντων για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και τη μοντελοποίηση, όπως προέκυψαν με την απαγωγική μέθοδο ανάλυσης. Αφού μεταγράφηκε η εκάστοτε απάντηση αναγνωρίστηκαν σε αυτή οι ΜΝ, στις οποίες αποδόθηκαν συγκεκριμένη κωδικοί, ανάλογα με το περιεχόμενό τους. Δημιουργήθηκαν οι αρχικές κατηγορίες, οι οποίες μετά από συνεχείς συγκρίσεις επανακατηγοριοποιήθηκαν σε ευρύτερες. Στην όλη αυτή διαδικασία ελήφθησαν υπόψη και τα ευρήματα της βιβλιογραφίας, σύμφωνα με την απαγωγική μέθοδο. Στο τελικό στάδιο (βλέπε ενότητα Αποτελέσματα) υπολογίστηκε ο αριθμός των ΜΝ, ώστε να αποσαφηνιστεί ποιες είναι οι βασικές αντιλήψεις των συμμετεχόντων μελλοντικών εκπαιδευτικών.

2.6.1. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον ορισμό του μοντέλου

Στην εικόνα 10 φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης των αντιλήψεων για το πώς αντιλαμβάνονται οι συμμετέχοντες την έννοια «μοντέλο». Παρατηρούμε ότι σχηματίστηκαν οκτώ κατηγορίες ανάλυσης. Στην ίδια εικόνα γράφονται παραδείγματα ΜΝ για την κάθε κατηγορία.

Κ1: Ασαφεια/ άγνοια/ δεν έχει νόημα για το διατυπωμένο έργο

- *Τεχνοτροπία*

Κ2: Σχέση με διδασκαλία

- *Μοντέλο μάθησης- θεωρία μάθησης. Τρόποι που μαθαίνουν τα παιδιά, αντιλήψεις, προϋπάρχουσες γνώσεις, π.χ. νηπαγωγείο: η Γη είναι επίπεδη*

Κ3: Πρότυπο για κάτι καινούριο

- *Μοντέλο είναι κάτι σαν πρότυπο που χρησιμοποιούν (οι επιστήμονες) για να λύσουν άλλα παρόμοια προβλήματα έχοντας αυτό ως καθοδηγητικό οδηγό.*

Κ4: Αναπαράσταση

- *Σκέφτομαι κάτι που χρησιμοποιείται ως «αντικαταστάτης» του πρωτοτύπου. Για παράδειγμα,στα πλαίσια της ανατομίας δεν θα χρησιμοποιήσουμε έναν ανθρώπινο σκελετό, μα φυσικά έναν ψεύτικο.*

Κ5: Αντίγραφο

- *Μια κατασκευή όμοια με την αυθεντική σε μικρότερες διαστάσεις.*

Κ6: Μία θεωρία των ΦΕ

- *Μου ερχεται στο μυαλο μια συγκεκριμενη θεωρία η ενας κανονας.*

Κ7: Παράδειγμα μοντέλων

- *Μία μαθηματική εξίσωση π.χ. μάζα επί επιτάχυνση.*

Κ8: Εργαλεία που εξυπηρετούν ερευνητικούς σκοπούς

- *Ένα αντικείμενο που είναι ειδικά διαμορφωμένο τέτοιο ώστε να οδηγήσει τους επιστήμονες στη λύση ενός πειράματος ή στο πόρισμα μίας έρευνας.*

Εικόνα 10: Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον ορισμό του μοντέλου

2.6.2. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την ομοιότητα του μοντέλου με τον στόχο που αναπαρίσταται

Στην εικόνα 11 φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης και σχετικά παραδείγματα των αντιλήψεων για τον βαθμό με τον οποίο οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει με τον στόχο που αναπαρίσταται. πώς αντιλαμβάνονται οι συμμετέχοντες την έννοια «μοντέλο». Παρατηρούμε ότι σχηματίστηκαν τέσσερις κατηγορίες ανάλυσης με τις οποίες καλύπτονται όλες οι πιθανές περιπτώσεις (δεν

είναι απαραίτητο να μοιάζει, πρέπει να μοιάζει σε κάποιο βαθμό, πρέπει να μοιάζει όσο το δυνατό περισσότερο).

Κ1: Ασαφεια/ άγνοια/ δεν έχει νόημα για το διατυπωμένο έργο
• *Το μοντελο θα πρεπει να αναπαριστει ένα πραγματικο φυσικο φαινομενο με σκοπο την οσο γινεται ευκολοτερη μελετη του*
Κ2: Όσο το δυνατό περισσότερο
• *Ένα μοντελο πρεπει να είναι οσο πιο κοντα γινετα στο πρωτότυπο, για να βγει ένα αποτελεσμα ορθό.*
Κ3: Να μοιάζει με διαφορές
• *Ένα μοντέλο είναι πιθανό να μοιάζει με το πρωτότυπο χωρίς να όμως να είναι ίδια*
Κ4: Δεν είναι απαραίτητο να μοιάζει
• *Θεωρω πως δεν είναι απαραιτητο ένα μοντελο να μοιαζει με το πρω τοτυπο*

Εικόνα 11: Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την σχέση του μοντέλου με το πρωτότυπο, όσο αφορά την ομοιότητα

2.6.3. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την πολλαπλότητα των μοντέλων

Στην εικόνα 12 φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης. Σχηματίστηκαν επτά κατηγορίες, για κάθε μία από τις οποίες γράφονται χαρακτηριστικά παραδείγματα. Ο σχετικά μεγάλος αριθμός κατηγοριών υποδηλώνει την ποικιλία των αιτιών στις οποίες απέδωσαν οι φοιτητές/τριες την ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων για τον ίδιο στόχο.

Κ1: Ασαφεια/ άγνοια/ δεν έχει νόημα για το διατυπωμένο έργο

- *Δεν γνωρίζω*

Κ2: Εγκυροποίηση - ακρίβεια αποτελεσμάτων

- *Χρησιμοποίουν περισσότερα από ένα μοντέλα γιατί προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις πιθανότητες λάθους.*

Κ3: Διευκόλυνση κατανόησης

- *Πιατευω πως χρησιμοποιουν μοντελα ένα και περοσσοτερα για να εχουμε ποικιλια στο σκεψεων για να δωδουμε περισσοτερα παραδειγματα.*

Κ4: Πλήρη εξήγηση της συμπεριφοράς του πρωτότυπου

- *Προκειμενου να εξηγησουν πληρως ένα επιστημονικο ζητημα αξιοποιωντας τα στοιχεια του κάθε μοντελου στη μελέτη.*

Κ5: η πολλαπλότητα εξυπηρετεί την ταύτιση στο πρωτότυπο

- *Για να δοκιμασουν διαφορετικα πειραματα ώστε να βγει ένα σωστο πρωτότυπο.*

Κ6: Πολλαπλές όψεις του πρωτότυπου

- *Νομιζω χρησιμοποιουν πολλα μοντελα για να βρουν διαφορες αποψεις / οπτικες του πρωτοτυπου.*

Κ7: Παροχή διαφορετικών ερμηνειών

- *Με την ύπαρξη διαφορετικών μοντέλων βάσει του ίδιου πρωτότυπου μπορούμε να βγάλουμε διαφορετικά πορίσματα*

Εικόνα 12: Κατηγορίες αντιλήψεων σχετικά με την πολλαπλότητα των μοντέλων

2.6.4. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον τρόπο κατασκευής των μοντέλων

Στην εικόνα 13 φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης των αντιλήψεων για τον τρόπο κατασκευής των μοντέλων από τους επιστήμονες. Σχηματίστηκαν επτά κατηγορίες (στην εικόνα 13 για κάθε κατηγορία γράφεται και ένα παράδειγμα).

Κ1: Ασαφεια/ άγνοια/ δεν έχει νόημα για το διατυπωμένο έργο

- *Με πολύ κοπο*

Κ2: Με βάση το πρωτότυπο

- *Έχουν ένα πρωτυπο στο μυαλο τους σε θεωρητικο επιπεδο και όταν αυτό υλοποιηθει θα ονομαζεται μοντελο.*

Κ3: σε στάδια διερεύνησης

- *Με την ερευνα , παρατηρηση και τις δοκιμές.*

Κ4: σκοπός του μοντέλου

- *Τα μοντελα κατασκευάζονται με ένα συγκεκριμένο σκοπό.*

Κ5: με βάση την θεωρία/ δεδομένα

- *Κατασκευάζονται βασισμένα στη θεωρία ή σε προηγούμενες σχετικές μελέτες.*

Κ6: φύση της έρευνας των επιστημόνων

- *Ένα μοντέλο κατασκευάζεται από πολλους επιστημονες για να καταληξουν στο τελικό.*

Κ7: Με βάση τα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά

- *Τα μοντέλα σκευάζονται από απλά υλικά όπως είναι το ξύλο.*

Εικόνα 13: Κατηγορίες Αντιλήψεων για τον τρόπο κατασκευής των μοντέλων

2.6.5. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για τον σκοπό των μοντέλων

Στην εικόνα 14 φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης των αντιλήψεων για τον σκοπό που εξυπηρετούν τα μοντέλα για τους επιστήμονες. Σχηματίστηκαν έξι κατηγορίες (στην εικόνα 14 φαίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα για την κάθε κατηγορία).

Κ1: Ασαφεια/ άγνοια/ δεν έχει νόημα για το διατυπωμένο έργο

- *Για να επιτύχουν σκοπούς γενικότερα ,να κάνουν τη ζωή καλύτερη.*

Κ2: Για διδακτικούς λόγους

- *Για να βοηθήσει στην μελέτη ή στη διδασκαλία του μαθήματος.*

Κ3: Εργαλεία ανάπτυξης κατανόησης / εξηγήσεων

- *Προκειμένου να εξηγήσουν με τεκμήρία τα φαινόμενα που μελετούν.*

Κ4: Εργαλεία ανάπτυξης/δοκιμασίας θεωρίας.

- *Οι επιστήμονες τα χρησιμοποιούν για να στηρίξουν τις θεωρήσεις τους .*

Κ5: επικοινωνία της γνώσης

- *Προκειμένου να βοηθήσουν , να εξηγήσουν τον κόσμο*

Κ6: πρόβλεψη

- *Η πρόβλεψη γίνεται πιο εύκολη και πιο εύστοχη με τα μοντέλα*

Εικόνα 14: Κατηγορίες Αντιλήψεων για τον σκοπό των μοντέλων

2.6.6. Κατηγορίες Ανάλυσης των αντιλήψεων για την αλλαγή των μοντέλων

Στην εικόνα 15 φαίνονται οι κατηγορίες ανάλυσης των αντιλήψεων για την αλλαγή των μοντέλων. Σχηματίστηκαν τρεις κατηγορίες αντιλήψεων, όσες είναι και οι δυνατές περιπτώσεις των αντιλήψεων (το μοντέλο αλλάζει, το μοντέλο δεν αλλάζει και ασάφεια). Στην εικόνα 15 φαίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα.

K1: Άγνοια / δεν διατυπώνεται ξεκάθαρη θέση
• *Δεν γνωρίζω.*
K2: Τα μοντέλα αλλάζουν
• *Μπορει να αλλαξει ένα μοντελο γιατι τα δεδομενα αλλαζουν οποτε μπορει να χρειαστεί να προσαρμοζονται σε νεες αναγκες*
K3: Τα μοντέλα δεν αλλάζουν
• *Ένα μοντέλο μπορεί και να μη αλλάξει ,αν εχει διαδωθεί και έχει γίνει κατανοητό από το κοινό*

Εικόνα 15: Κατηγορίες Αντιλήψεων για την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στις ενότητες που ακολουθούν γράφονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την φύση και τον ρόλο των μοντέλων και τη μοντελοποίηση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε κοινά διαγράμματα και για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων (φοιτητές/τριες ΠΤΝ, φοιτητές/τριες ΠΤΔΕ 1ου έτους, φοιτητές/τριες ΠΤΔΕ 3ου έτους). Στη συνέχεια ακολουθεί συζήτηση επί των διαγραμμάτων. Στις περιπτώσεις που σημειώνονται κοινά αποτελέσματα ανά όψη του περιεχομένου των μοντέλων, αυτά συζητώνται παράλληλα και για τις τρεις ομάδες. Στις περιπτώσεις που διακρίνονται διαφορετικά μοτίβα, η γραφή των αποτελεσμάτων ακολουθεί γενικά την παρακάτω σειρά: πρώτα καταγράφονται τα αποτελέσματα των αντιλήψεων για τους πρωτοετείς φοιτητές/τριες ΠΤΔΕ και ΠΤΝ 1ου έτους, και στη συνέχεια για αυτούς του ΠΤΔΕ του 3ου έτους. Στο τέλος της καταγραφής των αντιλήψεων για την κάθε όψη του περιεχομένου των μοντέλων ακολουθεί μία σύντομη σύνοψη. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των τριών διαφορετικών ομάδων φοιτητών/τριών συζητιέται στο Κεφάλαιο 4: Ενότητα Συζήτηση.

3.1 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τον ορισμό του μοντέλου

Στο διάγραμμα 1 φαίνονται τα αποτελέσματα για τις αντιλήψεις των φοιτητών/τριών για τη νοηματοδότηση του όρου «μοντέλου» (Ερώτηση 1 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α).

Διαπιστώνουμε γενικά για όλες τις ομάδες συμμετεχόντων μία ποικιλία αντιλήψεων για τον ορισμό των μοντέλων, όπως υποδηλώνεται από τον σχετικά μεγάλο αριθμό κατηγοριών. Ειδικότερα:

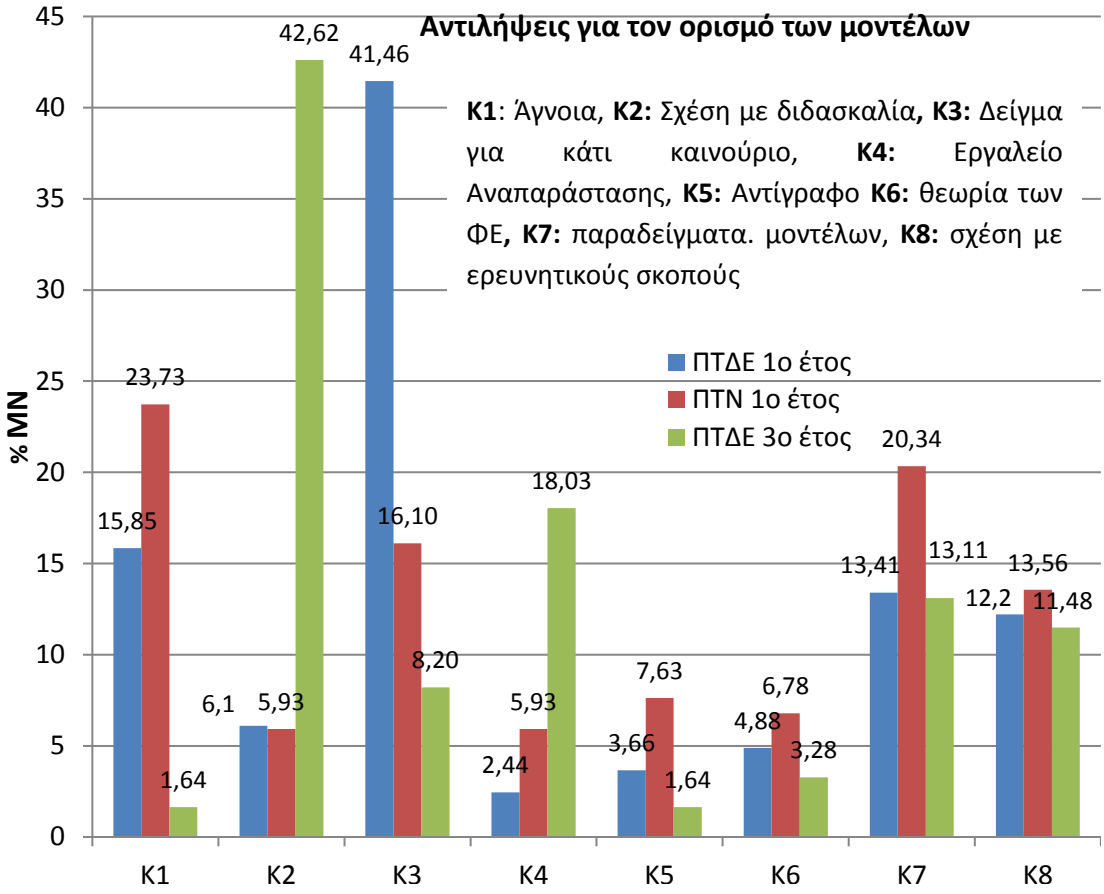
● Για τους συμμετέχοντες πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ, κυρίαρχη κατηγορία αποτέλεσε η Κ3. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο νοηματοδοτήθηκε με ορισμούς των λεξικών[3] και εκφράσεις της καθημερινότητας, σύμφωνα με τις οποίες το μοντέλο χρησιμοποιείται ως πρότυπο για κάτι καινούριο. Αυτό το πρότυπο μπορεί να είναι είτε αντικείμενο (πχ. μοντέλο αυτοκινήτου) είτε μία διαδικασία. Για παράδειγμα:

Πχ1: *Μοντέλο στις Φυσικές Επιστήμες θεωρείται ένας τρόπος επίλυσης ή απόδειξης φαινομένων.*

Πχ2: (Με τον όρο μοντέλο) *Μου έρχεται στο μυαλό ένας τύπος, μία ήδη λυμένη άσκηση βάση της οποίας θα κάνουμε μία παρόμοια. Π.χ. μία άσκηση με έναν τύπο για την δύναμη βάση της οποίας θα λυθεί μία άλλη με τον ίδιο τρόπο.*

[3] Πχ https://el.wiktionary.org/wiki/%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AD%CE%BB%CE%BF

Πχ3: *Όταν ακούω τη λέξη μοντέλο μου έρχεται στο μυαλό ένα αντικείμενο το οποίο χρησιμοποιείται σε ένα πείραμα.*



Διάγραμμα 1: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για τη νοηματοδότηση του όρου «μοντέλο»

Κατά τα λοιπά, παρατηρήθηκε μία σχετικά ισόποση διασπορά των ΜΝ της τάξεως του 15% σε τρεις κατηγορίες την Κ1 την Κ7 και την Κ8 (Διάγραμμα 1). Δηλαδή, είτε οι συμμετέχοντες πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ εξέφρασαν άγνοια για το «μοντέλο» στις ΦΕ (Κ1) είτε απλά διατύπωσαν κάποιο παράδειγμα βασισμένο σε αναπαραστατικά χαρακτηριστικά (βλέπε πίνακας 2, ενότητα 1.4.) χωρίς κάποιο συνοδευόμενο ορισμό (Κ7), είτε συνέδεσαν το μοντέλο με ερευνητικούς σκοπούς των επιστημόνων (Κ8). Παραδείγματα ΜΝ της Κ7 αποτελούν τα παρακάτω:

Πχ1: (Όταν ακούω τη λέξη μοντέλο μου έρχεται στο μυαλό) *μια μαθητική εξίσωση π.χ μάζα επί επιτάχυνση.*

Πχ2: (Όταν ακούω τη λέξη μοντέλο μου έρχεται στο μυαλό) *μια προσομοίωση.*

Πχ3: *Μοντέλο μπορεί να αποτελεί μια μακέτα ή μια πρόχειρη κατασκευή, μία εικόνα κάποιου ρομπότ.*

Σύμφωνα με το νόημα αυτών των ΜΝ της Κ8, το μοντέλο θεωρείται ως εργαλείο συλλογής πληροφοριών, πρόβλεψης ή ανάπτυξης κατανόησης για την λειτουργία ενός φαινομένου:

Πχ1: *Μοντέλο είναι μια κατάσταση από την οποία αντλούμε πληροφορίες ή στην οποία βασιζόμαστε για να προβλέψουμε και να εξερευνήσουμε.*

Πχ2: *Ένα αντικείμενο που είναι ειδικά διαμορφωμένο τέτοιο ώστε μα οδηγήσει τους επιστήμονες στη λύση ενός πειράματος ή στο πόρισμα μίας έρευνας.*

● Για τους αντίστοιχους πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΝ δεν παρατηρήθηκε ανάλογη συσσώρευση ΜΝ όπως παρατηρήθηκε σε αυτούς του ΠΤΔΕ. Τα σημαντικότερα ποσοστά σημειώθηκαν στην Κ1, Κ7 και Κ8 (15,85%, 20,34% και 13,56% αντίστοιχα). Από τα παραδείγματα μοντέλων που έγραψαν οι φοιτητές/τριες του ΠΤΝ χωρίς όμως την συνοδεία κάποιου ορισμού (Κ7), το πιο συχνά διατυπωμένο ήταν το (κβαντικό) μοντέλο του Bohr, το οποίο δείχνει την επίδραση στις αντιλήψεις που άσκησε η συγκεκριμένη γνώση που συγκράτησαν από το μάθημα της Φυσικής του ΠΤΝ του Α΄ εξαμήνου αυτοί οι συμμετέχοντες. Για παράδειγμα:

Πχ1: *Με τον όρο μοντέλο μου έρχεται στο μυαλό το Μοντέλο του Bohr.*

Πχ2: *Μοντέλο θα μπορούσε να είναι κάποιος ορισμός.*

Αναφορικά με τη σύνδεση των μοντέλων με τους ερευνητικούς σκοπούς (Κ8), το μοντέλο θεωρήθηκε κυρίως ως εργαλείο που επιτρέπει στους επιστήμονες να εξηγούν φαινόμενα ή να αποδείξουν μία θεωρία. Για παράδειγμα:

Πχ1: *Μοντέλο είναι ένα δείγμα το οποίο χρησιμοποιείται για να εξηγηθεί ένα φαινόμενο. Για παράδειγμα το κβαντικό μοντέλο και το μοντέλο του Bohr που οι επιστήμονες προσπαθούν να αναλύσουν πώς είναι το άτομο.*

Πχ2: (Μοντέλο είναι) *τα αντικείμενα που χρησιμοποιούν* (οι επιστήμονες) *για να αποδείξουν μια θεωρία.*

● Για τους φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ του τρίτου έτους σπουδών παρατηρούμε ότι η υψηλότερη συγκέντρωση ΜΝ παρατηρήθηκε στην Κ2 (περίπου 42%). Στις ΜΝ της κατηγορίας αυτής παρατηρήθηκε μία συσχέτιση του όρου «μοντέλου» με την διδασκαλία. Για παράδειγμα:

Πχ1: (Με τον όρο μοντέλο) *Μου έρχεται στο μυαλό κάποιο μοντέλο διδασκαλίας, πχ μοντέλο μεταφοράς, μοντέλο διερεύνησης.*

Πχ2: (Με τον όρο μοντέλο) *καταλαβαίνω ότι αναφερόμαστε στις τεχνικές διδασκαλίας, δηλαδή πώς δίδασκαν οι εκπαιδευτικοί, πώς διδάσκουν τώρα και πώς θα διδάξουμε εμείς ως μελλοντικοί εκπαιδευτικοί, π.χ. μοντέλο μεταφοράς, διερεύνησης.*

Το συγκεκριμένο εύρημα μπορεί να αποδοθεί στην ισχυρή επιρροή που άσκησε στις αντιλήψεις των τριτοετών σπουδαστών το μάθημα «Διδακτική της Φυσικής», κατά την διδασκαλία του οποίου η διδάσκουσα, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3, χρησιμοποιούσε τον όρο «μοντέλο» για να περιγράψει τις διαφορετικές προσεγγίσεις στην διδασκαλία. Αυτό το συμπέρασμα τεκμηριώνεται από το χαμηλό ποσοστό των ΜΝ που εντοπίστηκαν στις απαντήσεις των πρωτοετών φοιτητών που συγκέντρωσε η αντίστοιχη κατηγορία, αφού, ως πρωτοετείς, δεν είχαν ακόμα διδαχτεί για τα μοντέλα διδασκαλίας.

Τέλος, ένα σημαντικό ποσοστό νοημάτων αυτής της ομάδας συμμετεχόντων ταξινομήθηκε στην κατηγορία Κ4 (περίπου 18%), που δείχνει ότι οι συγκεκριμένοι αντιλαμβάνονται τα μοντέλα ως αναπαράσταση ενός στόχου (αντικειμένου, διαδικασίας, φαινομένου κτλ). Ίσως οι φοιτητές/τριες αυτής της κατηγορίας να επηρεάστηκαν από το μάθημα «Οι έννοιες της Φυσικής και οι Αναπαραστάσεις τους», στο οποίο διδάχτηκαν περί μοντέλων στο δεύτερο εξάμηνο σπουδών και στο οποίο όντως το μοντέλο ορίστηκε ως αναπαράσταση και ως παράδειγμα είχε παρουσιαστεί ένα μοντέλο που αναπαριστούσε τις θέσεις των πλανητών ως προς τον ήλιο (μοντέλο του ηλιοκεντρικού συστήματος). Για παράδειγμα:

Πχ1: *Μοντέλο στις ΦΕ είναι μία αναπαράσταση της πραγματικότητας σε μικρότερη κλίμακα. Για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι μία οπτική απεικόνιση, μία μακέτα που παρουσιάζει ένα φυσικό φαινόμενο.*

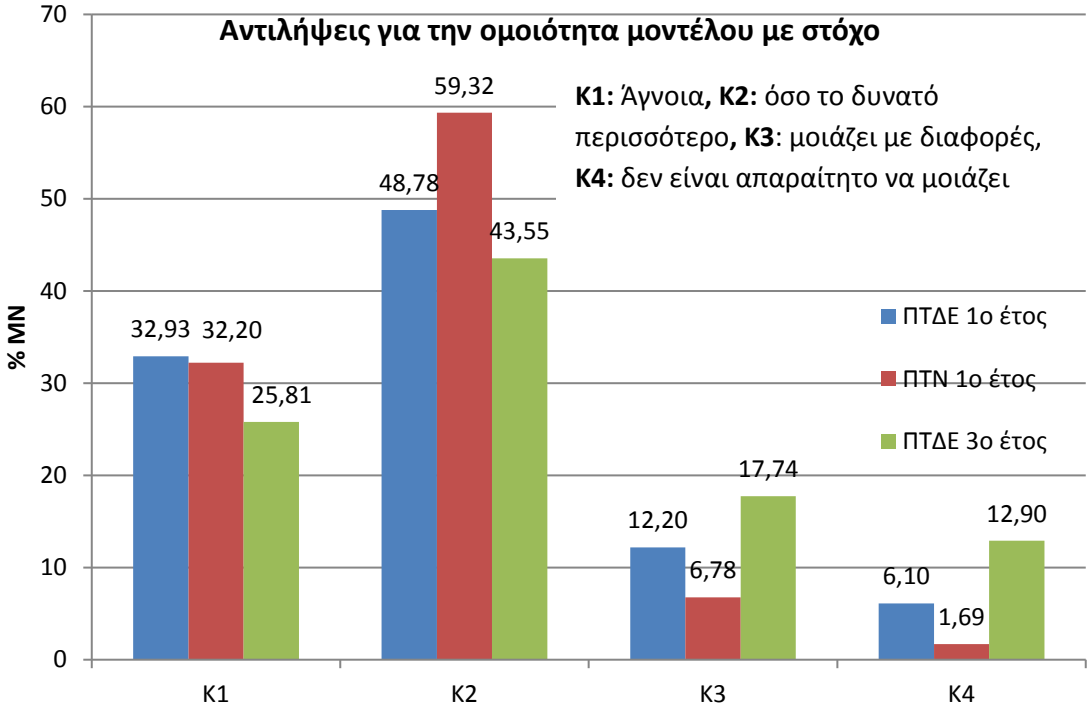
Πχ2: *Η λέξη μοντέλο μας παραπέμπει στην αναπαράσταση. Η αναπαράσταση στις φυσικές επιστήμες μπορεί να είναι ένα πείραμα ή κάποια κατασκευή η οποία αναπαριστά κάτι.*

Συνοψίζοντας, τα ευρήματα δείχνουν μία συγκέντρωση ΜΝ για τους φοιτητές /τριες του ΠΤΔΕ σε δύο κατηγορίες διαφορετικές για την κάθε ομάδα, ενώ μία έντονη διασπορά χωρίς κάποια ιδιαίτερη συσσώρευση σε κάποια κατηγορία για αυτούς του ΠΤΝ. Διαπιστώνεται ισχυρή επιρροή των αντιλήψεων των πρωτοετών φοιτητών του ΠΤΔΕ από τον τρόπο που χρησιμοποιείται ή ορίζεται το μοντέλο στην καθημερινότητα και των τριτοετών από τα μαθήματα που παρακολούθησαν στην, μέχρι την στιγμή της συλλογής των δεδομένων, ακαδημαϊκή τους πορεία. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί το χαμηλό ποσοστό ΜΝ που συγκεντρώθηκαν στην Κ5 (Το μοντέλο θεωρείται ως αντίγραφο της πραγματικότητας). Η συγκεκριμένη αντίληψη έχει καταγραφεί ως κυρίαρχη από το σύνολο της σχετικής βιβλιογραφίας, ωστόσο,

αυτή η αντίληψη δεν αποτυπώνεται στα ευρήματα, τουλάχιστον του συγκεκριμένου έργου. Όπως συζητείται στην αμέσως επόμενη ενότητα, η συγκεκριμένη αντίληψη βγήκε στην επιφάνεια στην ανάλυση του έργου 2 του ερωτηματολογίου.

3.2 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τον βαθμό ομοιότητας του μοντέλου με τον αναπαριστώμενο στόχο

Στο διάγραμμα 2 φαίνονται τα αποτελέσματα των αντιλήψεων των συμμετεχόντων για τον βαθμό με τον οποίο το μοντέλο πρέπει να μοιάζει με τον στόχο που αναπαριστά (Ερώτηση 2 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α). Διαπιστώνεται ότι για όλες τις ομάδες των συμμετεχόντων, κυρίαρχη κατηγορία αποτελεί η Κ2, ότι δηλαδή θα πρέπει το μοντέλο να μοιάζει με ό,τι αναπαριστά όσο το δυνατό περισσότερο.



Διάγραμμα 2: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για τον βαθμό ομοιότητας του μοντέλου με τον αναπαριστώμενο στόχο

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα παρακάτω:

Πχ1: *Ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με το πρωτότυπο, ώστε να αποφύγουμε λάθη στη συνέχεια.* (ΜΝ από ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ2: *Θα πρέπει το μοντέλο να είναι σχεδόν ακριβές με το πρωτότυπο ή ακριβώς το ίδιο,* (ΜΝ από ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ3: *Είναι αναγκαίο να υπάρχει μια ομοιότητα ανάμεσα στο μοντέλο και το πρωτότυπο , καθώς το πρώτο χρησιμοποιείται για την παρουσίαση και κατανόηση του τελευταίου.* (ΜΝ από ΠΤΔΕ 1ο έτος).

Πχ4: *Πρέπει να έχει μεγάλες ομοιότητες γιατί μέσα από την παρατήρηση του μοντέλου αντλούμε πληροφορίες.* (ΜΝ από ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ5: *Θεωρώ πως το μοντέλο πρέπει να μοιάζει στο πρωτότυπο για να είναι έγκυρο και για να μπορεί να μελετηθεί καλύτερα*. (ΜΝ από ΠΤΔΕ 3ο έτος)

Πχ6: *Ένα μοντέλο οφείλει να βρίσκεται κοντά στην πραγματικότητα, ώστε, οι μαθητές να έρθουν σε επαφή με κάτι αληθοφανές.* (ΜΝ από ΠΤΔΕ 3ο έτος)

Πχ7: *Πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο γιατί βοηθάει τους μαθητές να καταλάβουν επακριβώς το φαινόμενο.* (ΜΝ από ΠΤΝ 1ο έτος)

Πχ8: *Πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο 100% για να είναι το αποτέλεσμα όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο* (ΜΝ από ΠΤΝ 1ο έτος)

Πχ9: *Ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο αρκετά, διότι μπορεί να δημιουργηθούν παρανοήσεις σχετικά με αυτό.* (ΜΝ από ΠΤΝ 1ο έτος)

Από τα παραπάνω αλλά και από άλλα παραδείγματα ΜΝ που αναγνωρίστηκαν, τα βασικά επιχειρήματα για τον μεγάλο βαθμό ομοιότητας των μοντέλων με τον στόχο που αναπαριστούν, εστιάζουν:

● στην εγκυρότητα και την ακρίβεια (ότι δηλαδή ένα μοντέλο για να είναι έγκυρο πρέπει να αναπαριστά τον στόχο με ακρίβεια),

● στην κατανόηση και στη γνώση (όσο πιο πολύ μοιάζει ένα μοντέλο με τον στόχο, τόσο πιο ολοκληρωμένη μπορεί να είναι η κατανόησή μας για αυτόν),

● στην αποφυγή παρανοήσεων για τον στόχο (αν ένα μοντέλο δεν μοιάζει με το στόχο, τότε μπορεί να δημιουργηθούν παρανοήσεις για την συμπεριφορά του),

● στην οπτικοποίηση του στόχου (όσο πιο πολύ μοιάζει ένα μοντέλο με τον στόχο που αναπαριστά, τόσο πιο εύκολα μπορούμε νοητικά να το προσεγγίσουμε)

● στα μαθησιακά αποτελέσματα (όσο πιο πολύ μοιάζει ένα μοντέλο με τον στόχο που αναπαριστά, τόσο καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα θα σημειωθούν).

Επιπλέον στην ίδια κατηγορία των αντιλήψεων χρειάζεται να σημειωθεί ότι οι σχετικές ΜΝ στερούνταν επιχειρηματολογίας, για παράδειγμα:

Πχ1: *Ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει 100% με το πρωτότυπο, πρέπει να είναι το ίδιο.*

Πχ2: *Το μοντέλο θα πρέπει να μοιάζει πολύ με το πρωτότυπο.*

Σε κάθε περίπτωση, είτε δηλαδή εκδηλώνεται επιχειρηματολογία ή όχι, η συγκεκριμένη αντίληψη υποδηλώνει ότι ένα μοντέλο πρέπει να είναι αντίγραφο του στόχου που αναπαριστά, η οποία έχει καταγραφεί στη σχετική βιβλιογραφία ως βασική αντίληψη. Το εύρημα αυτού του έργου αντανακλά και την βαρύτητα του συγκεκριμένου έργου στην ανάδειξη αυτής της αντίληψης, η οποία, όπως αναφέρθηκε δεν αναδείχθηκε με το προηγούμενο έργο *(Τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τη λέξη «μοντέλο» στις Φυσικές Επιστήμες)*.

Από την άλλη μεριά, η κατηγορία που συγκέντρωσε το λιγότερο ποσοστό των ΜΝ και για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων ήταν η Κ3: δεν είναι απαραίτητο να μοιάζει το μοντέλο με τον στόχο. Οι τριτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ εξέφρασαν τις περισσότερες σχετικές ΜΝ εν συγκρίσει με τα άλλα δύο γκρουπ. Για παράδειγμα:

Πχ1: *Ένα μοντέλο δεν γίνεται να μοιάζει εντελώς με το πρωτότυπο, θα έχει κάποιες ατέλειες.*

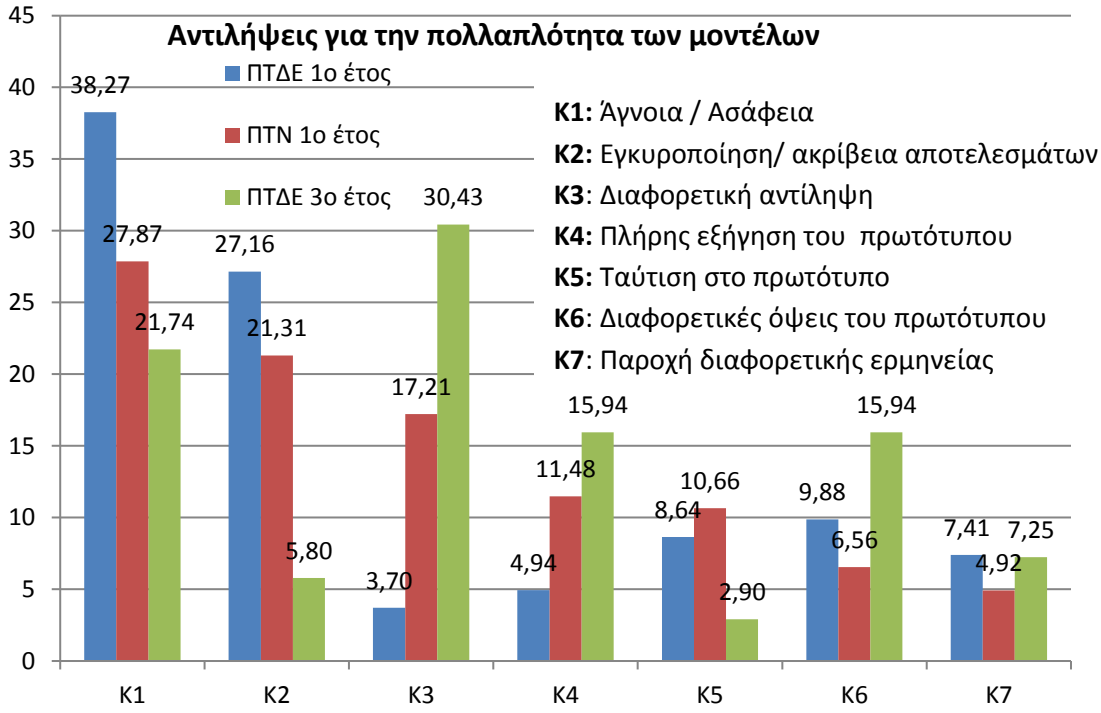
Πχ2: (Ένα μοντέλο χρειάζεται να μοιάζει με το πρωτότυπο) *όσο το δυνατό λιγότερο για να μην είναι αντιγραφή του πρωτοτύπου.*

Πχ3: *Θεωρώ ότι πρέπει να έχει κάποια στοιχεία από το πρωτότυπο, δίχως όμως να ενστερνίζεται όλα τα στοιχεία από αυτό.*

Εντούτοις σημειώνουμε και πάλι τα χαμηλά ποσοστά ΜΝ της κατηγορίας αυτής και για αυτήν την ομάδα συμμετεχόντων. Φαίνεται ότι η γνώση που απέκτησαν στα δύο μαθήματα (Οι έννοιες της Φυσικής και οι Αναπαραστάσεις τους και η Διδακτική της Φυσικής) δεν τους βοήθησε στο να αποκτήσουν ενημερωμένες αντιλήψεις για αυτήν την όψη του περιεχομένου. Αυτό μπορούμε να το αποδώσουμε στο ότι δεν διδάχτηκε ρητά αυτή η συγκεκριμένη όψη από τους διδάσκοντες των δύο μαθημάτων. Το εύρημα αυτό και το συνεπακόλουθο συμπέρασμα υποδηλώνει την αναγκαιότητα να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην διδασκαλία αυτής της όψης του περιεχομένου των μοντέλων και της μοντελοποίησης.

3.3 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για την πολλαπλότητα των μοντέλων

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την πολλαπλότητα των μοντέλων (Ερώτηση 3 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 3: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για την πολλαπλότητα των μοντέλων

Διαπιστώνουμε ότι για τους πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ και του ΠΤΝ κυρίαρχη κατηγορία είναι η Κ1, δηλαδή διατυπώθηκε άγνοια ή ασάφεια σχετικά με τα επιχειρήματα της χρήσης πολλαπλών μοντέλων για το ίδιο φαινόμενο από τους επιστήμονες. Η αμέσως επόμενη κατηγορία στην οποία ταξινομήθηκαν οι περισσότερες ΜΝ και για τα δύο γκρουπ ήταν η κατηγορία Κ2. Αυτό σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες έχουν την αντίληψη ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο για λόγους εγκυρότητας και ακρίβειας των αποτελεσμάτων τους, στην λογική ότι αν η χρήση των διαφορετικών μοντέλων οδηγεί σε ίδια συμπεράσματα/θεωρία τότε εγκυροποιούν την γνώση τους. Παραδείγματα ΜΝ αυτής της κατηγορίας των αντιλήψεων είναι τα παρακάτω:

Πχ1: *Σε γενικό πλαίσιο, με απώτερο σκοπό την εύρεση συμπερασμάτων, χρησιμοποιούν δύο η περισσότερα μοντέλα για να επιβεβαιώνουν κάθε φορά το τρέχον συμπέρασμα.*

Πχ2: (Χρησιμοποιούν δύο η περισσότερα μοντέλα) *για λόγους σιγουριάς και επαλήθευσης.*

Πχ3: (Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν δύο η περισσότερα μοντέλα) *Προκείμενου να καταλήξουν σε ένα ίδιο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας πάντα το καταλληλότερο*.

Πχ4: *Χρησιμοποιούν περισσότερα μοντέλα για αν μπορέσουν να είναι πιο ακριβείς στις διαφορετικές συνθήκες.*

Πχ5: *Χρησιμοποιούν περισσότερα από ένα μοντέλα γιατί προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις πιθανότητες λάθους.*

Αναφορικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες των αντιλήψεων εντοπίστηκαν κάποιες ΜΝ σε πολύ μικρότερα ποσοστά όμως (της τάξης 5-10%) εν συγκρίσει με τις δύο κυρίαρχες κατηγορίες και για τα δύο γκρουπ συμμετεχόντων (Διάγραμμα 3). Αρκετά πιο μεγάλο ποσοστό ΜΝ των φοιτητών /τριών του ΠΤΝ (περίπου 17%) αναγνωρίστηκε μόνο στην Κατηγορία Κ3. Σύμφωνα με αυτήν την κατηγορία των αντιλήψεων, οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι η χρησιμοποίηση των πολλαπλών μοντέλων οφείλεται στην διαφορετική ικανότητα του κάθε ατόμου να αντιλαμβάνεται τα φυσικά φαινόμενα. Για παράδειγμα:

Πχ1: (Τα πολλαπλά μοντέλα) *βοηθούν στο να καταλάβουν όλοι το ίδιο φαινόμενο αλλά με διαφορετικό τρόπο.*

Πχ2: *Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν πολλά μοντέλα για τον λόγο ότι ο μη επιστήμονας δεν μπορεί να αντιληφτεί με τη ίδια ευκολία μια κατάσταση.*

Η κατηγορία αυτή των αντιλήψεων αποτέλεσε την βασικότερη κατηγορία αντιλήψεων των τριτοετών φοιτητών/τριών. Παραδείγματα ΜΝ που εντοπίστηκαν για αυτήν την ομάδα συμμετεχόντων είναι:

Πχ3: *Γιατί υπάρχουν διαφορετικά όντα πάνω στη γη οπότε προσπαθούν να είναι προσβάσιμη (η γνώση) για όλους.*

Πχ4: *Γιατί κάθε άνθρωπος έχει διαφορετική οπτική και αντιλαμβάνεται με διαφορετικό τρόπο ένα σχήμα- αναπαράσταση. Πχ για να κατανοήσουν τα παιδιά το φαινόμενο του λωτού μπορεί να δημιουργήσουν διάφορα μοντέλα.*

Από το νόημα συνολικά των παραπάνω ΜΝ της κατηγορίας Κ3 (Παραδείγματα 1-4), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συγκεκριμένη κατηγορία των αντιλήψεων σχετίζεται με τον επικοινωνιακό ρόλο των μοντέλων. Δηλαδή, ότι καθώς τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία της γνώσης, χρειάζεται να έχουν την κατάλληλη μορφή ώστε αυτή η γνώση να γίνει αντιληπτή από όλους. Η κατηγορία των αντιλήψεων που σχετίζεται με τον επικοινωνιακό ρόλο των μοντέλων ήταν η τρίτη πολυπληθέστερη για τους τριτοετείς του ΠΤΔΕ (δες ενότητα 3.5) και αυτό το εύρημα φαίνεται να επιβεβαιώνεται εμμέσως και σε αυτό το έργο.

Σημειώνουμε επίσης ότι σημαντικά ποσοστά ΜΝ των τριτοετών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ αναγνωρίστηκαν στην Κατηγορία Κ1(άγνοια / ασάφεια). Τέλος, ένα ποσοστό ΜΝ της τάξεως του 15% αναγνωρίστηκε στις κατηγορίες Κ4 και Κ6. Σύμφωνα με το νόημα των ΜΝ αυτών των κατηγοριών, έρχεται στην επιφάνεια η αντίληψη ότι τα πολλαπλά μοντέλα χρησιμοποιούνται ώστε να επιτευχθεί μία ολοκληρωμένη

εξήγηση του πρωτότυπου (κατηγορία Κ4) αλλά και παρέχουν διαφορετικές όψεις του πρωτότυπου. Χαρακτηριστικά παραθέτουμε τα παρακάτω παραδείγματα ΜΝ:

Πχ1: (Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν πολλά μοντέλα) *ίσως γιατί κάθε μια από τις 2 η περισσότερες αναπαραστάσεις να εστιάζει σε ένα διαφορετικό κομμάτι της θεωρίας.*

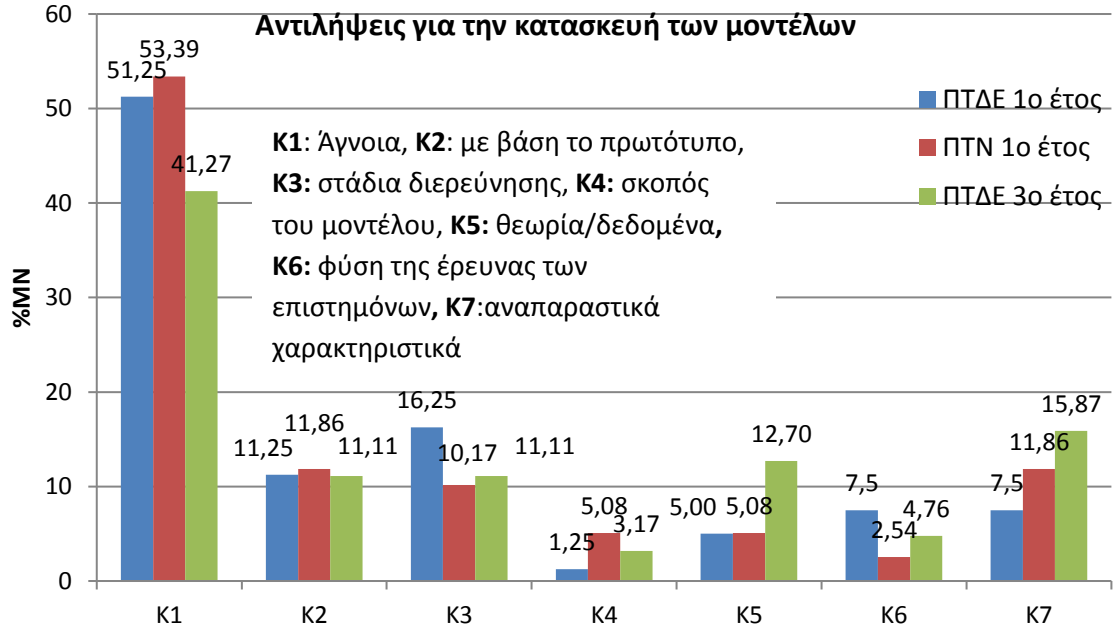
Πχ2: *Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν πολλά μοντέλα γιατί το κάθε ένα το αποτυπώνει με το δικό του τρόπο και το αναπαριστά διαφορετικά*.

Συνοψίζοντας, τα επιχειρήματα σχετικά με την εξήγηση της πολλαπλότητας των μοντέλων διακρίνονταν από ασάφεια κυρίως για τους πρωτοετείς φοιτητές/τριες τόσο του ΠΤΔΕ όσο και του ΠΤΝ. Αντίθετα, οι τριτοετείς απέδωσαν την πολλαπλότητα κυρίως στην διαφορετική αντιληπτική ικανότητα του κάθε ατόμου για τον στόχο που αναπαρίσταται.

3.4 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για την κατασκευή των μοντέλων

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την μέθοδο κατασκευής των μοντέλων (Ερώτηση 4 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α).

.



Διάγραμμα 4: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για την κατασκευή των μοντέλων

Διαπιστώνεται και για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων, ότι η κατηγορία που συγκέντρωσε την πλειοψηφία των ΜΝ ήταν η Κ1. Δηλαδή, οι φοιτητές/τριες του δείγματος εξέφρασαν άγνοια ή ασάφεια στις απαντήσεις τους για το πώς κατασκευάζονται τα μοντέλα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε αντίθεση με τις ΜΝ της κατηγορίας Κ1 των υπόλοιπων έργων, για το συγκεκριμένο έργο οι πιο πολλοί συμμετέχοντες δήλωσαν άγνοια (Δεν γνωρίζω), παρά εξέφρασαν κάτι με τρόπο ασαφή. Φαίνεται δηλαδή ότι οι συμμετέχοντες δυσκολεύονται να φανταστούν τη μέθοδο που ακολουθούν οι επιστήμονες στην κατασκευή των μοντέλων. Στις υπόλοιπες έξι κατηγορίες των απαντήσεων καταγράφηκαν μικρά ποσοστά ΜΝ. Οι πρωτοετείς φοιτητές του ΠΤΔΕ ανέφεραν πιο συχνά ότι η κατασκευή των μοντέλων συμβαίνει σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας της επιστημονικής διερεύνησης (π.χ. όταν οι επιστήμονες διεξάγουν πειράματα – κατηγορία Κ3). Οι αντίστοιχοι πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΝ εξέφρασαν την άποψη ότι προκειμένου οι επιστήμονες να κατασκευάσουν μοντέλα είτε στηρίζονται στο πρωτότυπο (Κατηγορία Κ2), είτε στον σκοπό που επιθυμούν να επιτελέσει το μοντέλο (κατηγορία Κ4) είτε στα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά των μοντέλων (Κατηγορία Κ7 των αντιλήψεων, πχ. χρησιμοποιούν διάφορα υλικά για την κατασκευή των χειροπιαστών μοντέλων). Το τελευταίο αποτέλεσε και την κατηγορία που συγκέντρωσε το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό των ΜΝ από την Κ1 των τριτοετών φοιτητών του ΠΤΔΕ. Ένα μικρότερο ποσοστό από αυτούς αναφέρθηκε και στο ότι οι επιστήμονες όταν κατασκευάζουν μοντέλα στηρίζονται στην θεωρία ή στα δεδομένα. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα ΜΝ, σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε:

Πχ1: (Οι επιστήμονες κατασκευάζουν μοντέλα) *ίσως με μακέτα ή διάφορα υλικά μέταλλο πλαστικό κλπ*. (ΜΝ της κατηγορίας Κ7 – ΠΤΔΕ 1^{ο} έτος)

Πχ2 *Για να κατασκευαστούν τα μοντέλα θα πρέπει να συλλέξουν τις πληροφορίες και όσο περισσότερο γίνεται πιο ακριβείς* (ΜΝ της κατηγορίας Κ3 – ΠΤΔΕ 1^{ο} έτος)

Πχ3: *Με την έρευνα , παρατήρηση και τις δοκιμές*. (ΜΝ της κατηγορίας Κ3 – ΠΤΔΕ 1^{ο} έτος)

Πχ4: (Οι επιστήμονες κατασκευάζουν μοντέλα) *με βάση το πρωτότυπο τους* (ΜΝ της κατηγορίας Κ2 – ΠΤΝ 1^{ο} έτος)

Πχ5: (Οι επιστήμονες κατασκευάζουν μοντέλα) *έπειτα από υποθέσεις, πειράματα, έλεγχο υποθέσεων, συζήτηση (ΜΝ της κατηγορίας* Κ3 – ΠΤΝ 1^{ο} έτος)

Πχ6: (Οι επιστήμονες κατασκευάζουν μοντέλα) *ανάλογα με το τι θέλουν να δείξουν οι φυσικοί* (ΜΝ της κατηγορίας Κ4 – ΠΤΝ 1^{ο} έτος)

Πχ7: *Πιστεύω πως ένα μοντέλο κατασκευάζεται με βάση τη θεωρία Έχουμε την θεωρία και βρίσκουμε πράγματα που λειτουργούν με βάση αυτή για να την επεξηγήσουμε.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ5 – ΠΤΔΕ 3ο έτος)

Πχ8: Οι επιστήμονες κατασκευάζουν μοντέλα) *μέσα από δοκιμές και αποτελέσματα τα οποία μπορεί να έχουν.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ3 – ΠΤΔΕ 2ο έτος)

Πχ9: *Τα μοντέλα κατασκευάζονται ανάλογα με τα κοινωνικά, πολιτισμικά, πολιτικά πρότυπα κάθε θεωρητικού.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ1 – ΠΤΔΕ 3ο έτος)

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συμμετέχοντες και των τριών ομάδων αγνοούν την μέθοδο που ακολουθούν οι επιστήμονες για την κατασκευή των μοντέλων. Τα μεγάλα ποσοστά άγνοιας φαίνεται να αντανακλούν την κοινή αντίληψη ότι η μοντελοποίηση περιλαμβάνει απλά και μόνο την κατασκευή του μοντέλου. Οι φοιτητές/τριες δεν αντιλαμβάνονται την μοντελοποίηση ως μία επαναληπτική διαδικασία που περιλαμβάνει μία σειρά από πρακτικές, κάτι που είναι μάλλον αναμενόμενο, αφού δεν έχουν εμπλακεί με αυτές κατά την διάρκεια των σπουδών τους (Ενότητα 1.2).

3.5 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τον σκοπό των μοντέλων

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για τον σκοπό των μοντέλων (Ερώτηση 5 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α).
Ειδικότερα και ανά ομάδα συμμετεχόντων παρατηρούμε τα εξής:

● Για τους πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ και του ΠΤΝ, κυρίαρχη κατηγορία ήταν η Κ1. Αυτό σημαίνει ότι οι συμμετέχοντες εξέφρασαν είτε άγνοια στις απαντήσεις τους για το ποιος μπορεί να είναι ο σκοπός των μοντέλων, είτε οι απαντήσεις τους διακρίνονταν από ασάφεια. Ωστόσο, σημειώνουμε ότι οι περισσότερες από τις ΜΝ της κατηγορίας αυτής διακρίνονταν περισσότερο από ασάφεια παρά από άγνοια. Δηλαδή, οι συμμετέχοντες των οποίων οι ΜΝ ταξινομήθηκαν στην Κ1, έγραψαν ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα για να διευρύνουν τους ορίζοντές τους, για να διευκολύνουν την ζωή τους ή για να εκτελούν πειράματα. Για παράδειγμα:

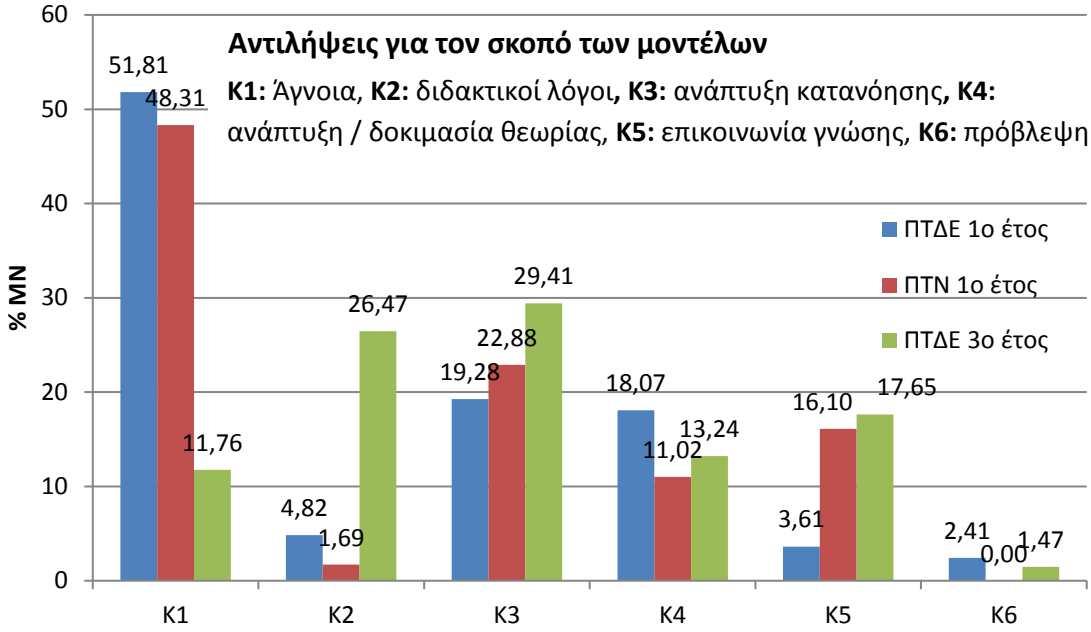
Πχ1: *Χρησιμοποιούν μοντέλα για να βασίζονται σε αυτά τα διάφορα πειράματα.* (ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ2: *Για να προχωρήσει μπροστά η επιστήμη.* (ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ3: *Για να διευρύνουν τους ορίζοντες τους.* (ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ4: *Γιατί δεν είναι εφικτό να κάνουν άλλη ενέργεια.* (ΠΤΝ 1ο έτος)

Πχ5: *Για να διευκολυνθούν στην δουλειά τους.* (ΠΤΝ 1ο έτος)



Διάγραμμα 5: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για τον σκοπό των μοντέλων

Στις υπόλοιπες κατηγορίες, εντοπίστηκαν ΜΝ σε μικρότερα όμως ποσοστά από αυτά της Κ1 και με σημαντική διασπορά. Για παράδειγμα, αναγνωρίστηκαν ΜΝ στις Κατηγορίες Κ2 έως Κ6, με πιο σημαντική συγκέντρωση στις κατηγορίες Κ3, Κ4 και Κ5 (η τελευταία για τους συμμετέχοντες του ΠΤΝ). Ειδικότερα, οι πρωτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ εστίασαν στο ρόλο των μοντέλων στην ανάπτυξη κατανόησης (Κατηγορία Κ3) και στην ανάπτυξη / δοκιμασία θεωρίας (Κατηγορία Κ4), ενώ οι αντίστοιχοι του ΠΤΝ ανέφεραν επιπρόσθετα και τον ρόλο των μοντέλων στην επικοινωνία της γνώσης (Κατηγορία Κ5). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα παρακάτω:

Πχ1 *Για να κατανοήσουν αρχικά οι ίδιοι τις επιστημονικές έννοιες.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ3 – ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ2 *Για να αποδείξουν τις επιστημονικές τους θεωρίες πάνω σε ένα φυσικό φαινόμενο.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ4 – ΠΤΔΕ 1ο έτος)

Πχ3 *Για να τους βοηθήσει να το εξηγήσουν* (το φαινόμενο) *σε άλλους.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ5 – ΠΤΝ 1ο έτος)

● Για τους τριτοετείς σπουδαστές του ΠΤΔΕ, διαπιστώνεται μία διασπορά των ΜΝ κυρίως στις κατηγορίες Κ2 και Κ3 και λιγότερο στις Κ4 και Κ5. Δηλαδή, ο ρόλος των μοντέλων θεωρήθηκε ότι σχετίζεται, εκτός από την ανάπτυξη κατανόησης, με την

ανάπτυξη / δοκιμασία θεωρίας και με την επικοινωνία της γνώσης (Κατηγορίες Κ3, Κ4 και Κ5 αντίστοιχα), τα οποία αναφέρθηκαν και από τους πρωτοετείς συμφοιτητές/τριες τους, καθώς επίσης και με διδακτικούς λόγους σε ένα ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από αυτό που καταγράφηκε στα άλλα δύο γκρουπ. Το εύρημα αυτό, θεωρούμε ότι αντανακλά την επιρροή των αντιλήψεων από την «Διδακτική της Φυσικής» όπως ακριβώς σημειώθηκε και στις αντιλήψεις για τη νοηματοδότηση του μοντέλου (δες ενότητα 3.1). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα παρακάτω:

Πχ1: *Για τις ανάγκες της διδασκαλίας.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ2 – ΠΤΔΕ 3^{ο} έτος)

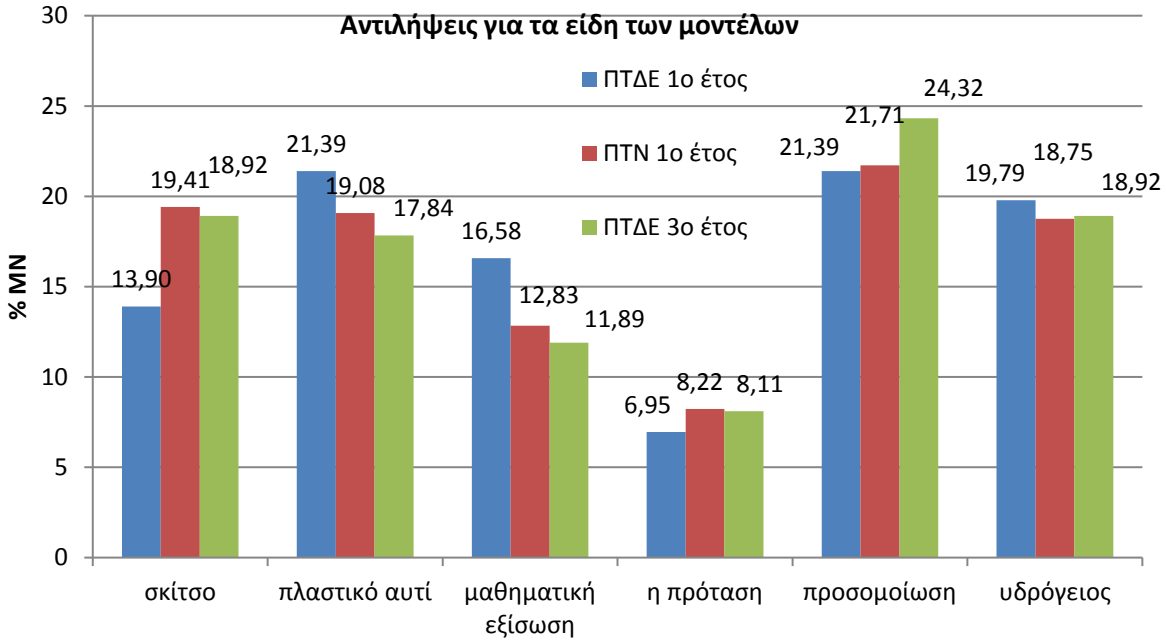
Πχ2: *Προκειμένου να διαπιστώσουν πως λειτουργεί η διαδικασία μάθησης με το εκάστοτε μοντέλο, να εξάγουν συμπεράσματα και κατ' επέκταση να εξελίξουν την διαδικασία της μάθησης.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ2 – ΠΤΔΕ 3^{ο} έτος)

Πχ3: *Νομίζω πως οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα για να οπτικοποιήσουν ή να αποτυπώσουν κάτι, ώστε να γίνει πιο εύκολη η κατανόηση και η μελέτη πάνω σε αυτό, εφόσον μπορεί να είναι απτό και ορατό.* (ΜΝ της κατηγορίας Κ3 – ΠΤΔΕ 3^{ο} έτος)

Συμπερασματικά, ενώ οι αντιλήψεις των πρωτοετών του ΠΤΔΕ και του ΠΤΝ για τον σκοπό των μοντέλων διακρίνονται από ασάφεια, οι αντίστοιχες αντιλήψεις των τριτοετών του ΠΤΔΕ συσχετίζουν τον σκοπό των μοντέλων περισσότερο με τους σκοπούς της διδασκαλίας και την ανάπτυξη κατανόησης. Κατά τα άλλα εντοπίζονται ΜΝ σε αρκετά σημαντικά ποσοστά σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες των αντιλήψεων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η κατηγορία στην οποία συγκεντρώθηκαν τα μικρότερα ποσοστά των αντιλήψεων ήταν η Κ6 και για τις τρεις ομάδες των συμμετεχόντων. Ο ρόλος των μοντέλων στην πρόβλεψη βιβλιογραφικά αναγνωρίζεται ως ένας από τους πιο σημαντικούς, ωστόσο, έχει καταγραφεί η δυσκολία οι συμμετέχοντες από διάφορες ομάδες (μαθητές, φοιτητές, εκπαιδευτικοί) να υποβαθμίζουν αυτήν την σημαντική συνεισφορά των μοντέλων στην έρευνα. Αυτό το εύρημα, της υποβάθμισης του προβλεπτικού ρόλου των μοντέλων, καταγράφεται και στην δική μας έρευνα.

3.6 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για τα είδη των μοντέλων

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για τα είδη των μοντέλων (Ερώτηση 6 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α).

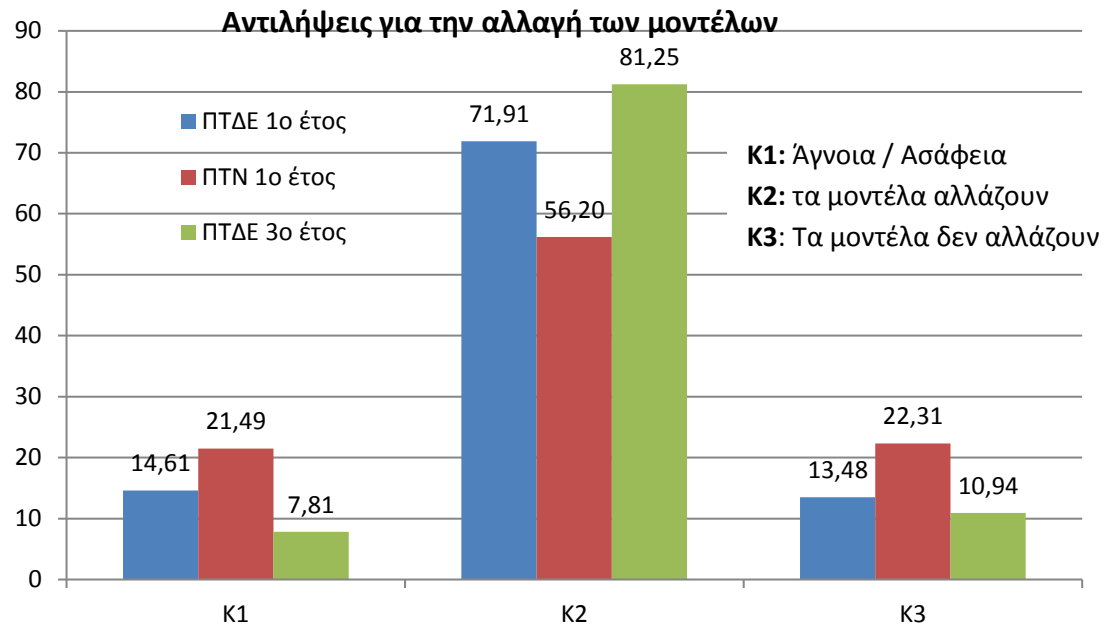


Διάγραμμα 6: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για τα είδη των μοντέλων

Διαπιστώνεται και για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων ένας διασκορπισμός και ταυτόχρονα μία συσσώρευση των ΜΝ περισσότερο στο σκίτσο, στο πλαστικό αυτί, στην προσομοίωση και στην υδρόγειο και λιγότερο στην πρόταση. Παρατηρούμε ότι τα πιο υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης ΜΝ σημειώθηκαν στην προσομοίωση. Ίσως αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι χρειάζεται ένας υπολογιστής για την ανάπτυξη του μοντέλου ή ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν υπολογιστικές προσομοιώσεις ώστε να προσεγγίσουν ένα φαινόμενο. Από την άλλη, στη σχετική βιβλιογραφία καταγράφεται η δυσκολία των συμμετεχόντων να αντιληφθούν τους λεκτικούς κανόνες ως μοντέλα, και αυτό επιβεβαιώνεται από τα χαμηλά ποσοστά ΜΝ που συγκεντρώθηκαν σε αυτήν την κατηγορία. Εντύπωση προκαλεί η σχετικά χαμηλή επιλογή ως μοντέλο της υδρογείου σφαίρας. Η κατασκευή αυτή θεωρείται ως από τα πιο γνωστά μοντέλα των ΦΕ, με την οποία η εξοικείωση ξεκινά από μικρή ηλικία, ωστόσο, φαίνεται ότι αναγνωρίζεται ως μοντέλο μόνο από το 20% περίπου των συμμετεχόντων. Ίσως για αυτό ευθύνεται στο ότι η συγκεκριμένη κατασκευή ονοματίζεται στα σχολικά βιβλία και από τους εκπαιδευτικούς ως «υδρόγειος» και όχι ως «μοντέλο» του σχήματος και της τοπογραφίας της Γης .

3.7 Αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις για την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων

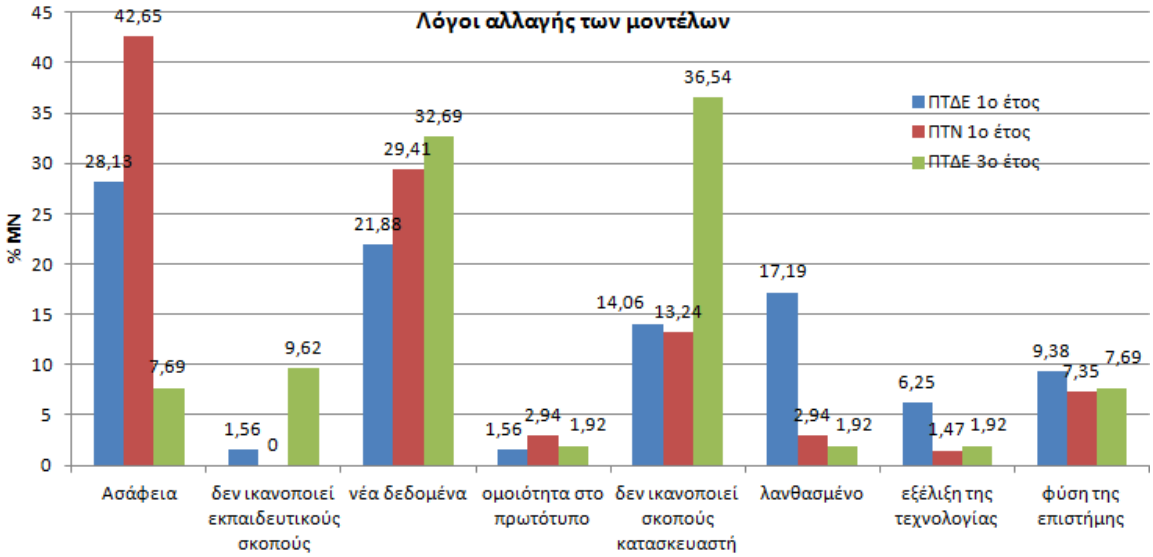
Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων (Ερώτηση 7 στο ερωτηματολόγιο, Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7: Ποσοστό των ΜΝ ανά κατηγορία των αντιλήψεων για την αλλαγή των μοντέλων

Αρχικά, διαπιστώνουμε ότι και οι τρεις ομάδες συμμετεχόντων κατέχουν την αντίληψη ότι τα μοντέλα αλλάζουν. Αυτό το συμπέρασμα εξάγεται από τα υψηλά ποσοστά ΜΝ που συγκέντρωσε η Κατηγορία Κ2. Τα πιο υψηλά ποσοστά ΜΝ αυτής της κατηγορίας αναγνωρίστηκαν για τους τριτοετείς φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ και τα μικρότερα για τους αντίστοιχους πρωτοετείς του ΠΤΝ. Η συγκεκριμένη αντίληψη προσιδιάζει με την επιστημονική άποψη.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 8) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με τα επιχειρήματα που διατυπώνει η κάθε ομάδα συμμετεχόντων προκειμένου να στηρίξει την άποψη της για την αλλαγή του μοντέλου.



Διάγραμμα 8: Επιχειρήματα αλλαγής των μοντέλων

Φαίνεται ότι οι πρωτοετείς του ΠΤΔΕ κα του ΠΤΝ διατύπωσαν ασάφεια στην αιτιολόγηση τους. Σε αυτές τις ΜΝ είτε απλά καταγράφηκε η θέση «τα μοντέλα δεν αλλάζουν» χωρίς αιτιολόγηση ή η αιτιολόγηση ήταν γενική και αόριστη. Σημειώνουμε ότι το σχετικό ποσοστό ήταν κατά πολύ μεγαλύτερο στους φοιτητές/τριες του ΠΤΝ εν συγκρίσει με αυτό του ΠΤΔΕ Για παράδειγμα:

Πχ1: *Είναι δυνατόν να το αλλάξουν* (το μοντέλο).

Πχ2: (Οι επιστήμονες αλλάζουν τα μοντέλα τους) *για να διευκολύνει το έργο τους.*

Πχ3: *Σύμφωνα με τις εποχές, οι οποίες μεταβάλλονται, θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι και τα μοντέλα αλλάζουν*.

Σε ένα ποσοστό της τάξεως του 20% και του 30% αντίστοιχα για τους πρωτοετείς του ΠΤΔΕ και του ΠΤΝ εντοπίστηκαν ΜΝ, σύμφωνα με το νόημα των οποίων έγινε φανερή η αντίληψη ότι τα μοντέλα αλλάζουν λόγω της εμφάνισης νέων δεδομένων. Χαρακτηριστικά:

Πχ1: (Οι επιστήμονες) *αλλάζουν τα μοντέλα καθώς νέες ανακαλύψεις φέρνουν νέα δεδομένα.*

Πχ2: *Σαφώς μπορεί να αλλάξει* (ένα μοντέλο) *αφού* (οι επιστήμονες) *μπορούν να βρουν διαφορετικά δεδομένα.*

Κάποιες πρόσθετες αντιλήψεις σε μικρότερα όμως ποσοστά εμφάνισης, αφορούν ότι τα μοντέλα αλλάζουν όταν δεν ικανοποιούν τους σκοπούς του κατασκευαστή τους (π.χ. όταν πια δεν ερμηνεύει το φαινόμενο /θεωρία επαρκώς) (περίπου 15% και για τα δύο γκρουπ) αλλά και όταν βρεθεί κάτι λανθασμένο σε αυτά (περίπου 17% για τους πρωτοετείς του ΠΤΔΕ). Για παράδειγμα:

Πχ1: *Ναι είναι δυνατό να αλλάξει* (ένα μοντέλο). *Ανάλογα με τις διαφοροποιήσεις που μπορεί να εντοπίσουν* (οι επιστήμονες) *μελετώντας την ίδια θεωρία.*

Πχ2: *Ναι είναι δυνατό να αλλάξει* (ένα μοντέλο). *Αν βρεθεί κάποιος που μπορεί να αποδείξει ότι είναι λάθος.*

Τα επιχειρήματα των τριτοετών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ εστίασαν περισσότερο στο ότι τα μοντέλα αλλάζουν όταν δεν ικανοποιούν τους σκοπούς του κατασκευαστή (περίπου 36%) και όταν βρεθούν νέα δεδομένα (περίπου 32%). Σύμφωνα με τα ευρήματα αυτά, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι συμμετέχοντες δίνουν βαρύτητα στα δεδομένα και όχι στην ερμηνεία αυτών για την αλλαγή των μοντέλων, αλλά και δέχονται ότι υπάρχει ένα και μοναδικό μοντέλο το οποίο εξηγεί ένα φαινόμενο, το οποίο μοντέλο πρέπει να αλλάξει ώστε η επόμενη βελτιωμένη εκδοχή του να ανταποκριθεί καλύτερα στον σκοπό του κατασκευαστή του.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η άποψη της μη αλλαγής του μοντέλου (κατηγορία Κ3 – Διάγραμμα 7). Τα επιχειρήματα που στηρίζουν αυτήν την αντίληψη είναι ότι οι επιστήμονες δεν αλλάζουν τα μοντέλα τους είτε γιατί το μοντέλο έχει δοκιμαστεί, είτε γιατί κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι είχαν κάνει κάτι λάθος εξ ‘ αρχής (πχ. διατύπωση λάθος θεωρίας), το οποίο κατά τους συμμετέχοντες της έρευνας θεωρείται ως μη αποδεκτό για την επιστήμη. Για παράδειγμα:

Πχ1: *Πολλές φορές τα μοντέλα δεν αλλάζουν για να μην χάσουν την αξιοπιστία τους* (οι επιστήμονες).

Πχ2: Αν έχει αποδεδειχθεί κάτι το μοντέλο δεν μπορεί να αλλάξει.

Πχ3: *Όχι, δεν αλλάζει γιατί για αν χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο σημαίνει πως έχει δοκιμαστεί με σωστό τρόπο.*

Συμπερασματικά, οι φοιτητές/τριες μπορεί να θεωρούν ότι ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει, ωστόσο τα επιχειρήματα τουλάχιστον αυτά που εξέφρασαν οι πρωτοετείς φοιτητές/τριες ήταν ασαφή. Αντίθετα, οι τριτοετείς φοιτητές/τριες θεώρησαν ότι τα μοντέλα αλλάζουν είτε όταν εμφανιστούν νέα δεδομένα είτε όταν δεν ικανοποιούν τους σκοπούς του κατασκευαστή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα - Συζήτηση

Οι αντιλήψεις για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση στις ΦΕ αφορούν τις αντιλήψεις στις τέσσερις όψεις του περιεχομένου των μοντέλων και της μοντελοποίησης, όπως αυτές αναγνωρίστηκαν κατά τη βιβλιογραφική επισκόπηση (βλέπε Κεφ.1 Συμπεράσματα Βιβλιογραφικής Επισκόπησης, συμπέρασμα Ε), δηλαδή (α) τη φύση των μοντέλων, (β) τη φύση ή την διαδικασία μοντελοποίησης, (γ) την αξιολόγηση και αναθεώρηση των μοντέλων και (δ) τον σκοπό των μοντέλων. Ειδικότερα και σύμφωνα με την πρόταση των Schwarz & White, 2005, η φύση των μοντέλων περιλαμβάνει τη νοηματοδότηση του «μοντέλου», τον βαθμό ομοιότητας του μοντέλου με τον στόχο που αναπαριστά, την πολλαπλότητα των μοντέλων και τα είδη των μοντέλων (Έργα 1, 2, 3, 6 αντίστοιχα του ερωτηματολογίου). Για τις αντιλήψεις σχετικά με την φύση της μοντελοποίησης θα συζητηθούν τα ευρήματα κυρίως από το έργο 4 του ερωτηματολογίου, «πώς νομίζεις ότι κατασκευάζονται τα μοντέλα», για αυτές που αφορούν την αξιολόγηση των μοντέλων θα αξιοποιηθούν τα ευρήματα που προέκυψαν από το έργο 7, που σχετίζεται με την δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων και τέλος για τον σκοπό των μοντέλων θα συζητηθούν τα αποτελέσματα από το ομώνυμο έργο 5 του ερωτηματολογίου.

<u>Αντιλήψεις για την φύση των μοντέλων</u>

Αναφορικά με τη νοηματοδότηση του «μοντέλου» τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σημαντικός παράγοντας που επηρέασε την διαμόρφωση των αντιλήψεων των πρωτοετών φοιτητών/τριών του ΠΤΝ και των τριτοετών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ αποτέλεσε η διδασκαλία της μαθήματος για τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών, ενώ για την δεύτερη περίπτωση συνέβαλε επιπλέον και η διδασκαλία του μαθήματος της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Συγκεκριμένα, αν και δεν δόθηκε κάποιος ξεκάθαρος ορισμός ούτε στο ένα ούτε στο άλλο ακαδημαϊκό μάθημα, η σύνδεση του μοντέλου αφενός με θεωρίες Φυσικής (ατομικό – κβαντικό μοντέλο) και αφετέρου, με τις διαφορετικές προσεγγίσεις της διδασκαλίας (μοντέλο μεταφοράς της γνώσης, μοντέλο εποικοδόμησης κτλ), ήταν έκδηλη στις αντιλήψεις. Μάλιστα, η επίδραση του μαθήματος της Διδακτικής ΦΕ στις αντιλήψεις για τη νοηματοδότηση του μοντέλου ήταν τόσο ισχυρή, που περίπου δύο στους πέντε συμμετέχοντες του τρίτου έτους σπουδών του ΠΤΔΕ συνέδεσαν το «μοντέλο» με τα μοντέλα διδασκαλίας. Επιπλέον, χρειάζεται να προσθέσουμε σε αυτό το ποσοστό και τους τριτοετείς που ανακάλεσαν «την αναπαράσταση» για τον ορισμό του μοντέλου, η οποία ρητά είχε χρησιμοποιηθεί σαν όρος στο σχετικό μάθημα του β

εξαμήνου σπουδών. Άρα, μπορούμε να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι συνολικά έξι στους δέκα μελλοντικούς τριτοετείς φοιτητές/τριες (Διάγραμμα 1) χρησιμοποίησαν τη κατανόηση που ανέπτυξαν μέσα στα πλαίσια των μαθημάτων. Ανάλογα ευρήματα, σύμφωνα με τα οποία συνδέθηκαν οι αντιλήψεις με την ακαδημαϊκή ή μαθητική εμπειρία των φοιτητών βρέθηκαν και σε άλλες έρευνες (πχ. Καπουσίζη, 2012).

Από εκεί και πέρα, οι αντιλήψεις φαίνονται επηρεασμένες από τον τρόπο που τα μοντέλα χρησιμοποιούνται σε εκφράσεις της καθημερινότητας ή ορίζονται σε λεξικά. Συγκεκριμένα, το «μοντέλο» νοηματοδοτήθηκε με βάση την κοινή αντίληψη ότι χρησιμοποιείται ως παράδειγμα/πρότυπο/δείγμα για να γίνει κάτι καινούριο. Η συγκεκριμένη αντίληψη εκφράστηκε ιδιαίτερα από τους πρωτοετείς του ΠΤΔΕ (περίπου δύο στους πέντε) οι οποίοι δεν είχαν δεχτεί κάποια επιρροή από μαθήματα Φυσικής ή Διδακτικής, όπως προβλέπει το πρόγραμμα σπουδών του τμήματος.

Ίσως η αντίληψη ότι το μοντέλο χρησιμοποιείται ως πρότυπο για κάτι καινούριο να υποδεικνύει έμμεσα στην αντίληψη ότι το μοντέλο πρέπει είναι αντίγραφο ενός πρωτότυπου αντικειμένου. Αν και η αντίληψη περί αντίγραφου δεν βγήκε στην επιφάνεια με τρόπο ξεκάθαρο από τις νοηματοδοτήσεις του μοντέλου από τους συμμετέχοντες, μπορούμε να το ισχυριστούμε, αν συνδυάσουμε και τα ευρήματα για το βαθμό ομοιότητας του μοντέλου με τον αναπαριστώμενο στόχο. Σε υψηλά ποσοστά και για τις τρεις ομάδες συμμετεχόντων (περίπου 60 – 70%), εκφράστηκε η αντίληψη ότι τα μοντέλα πρέπει να μοιάζουν από πολύ έως αρκετά με τον στόχο που αναπαριστούν, ώστε, είτε να μην γίνουν εστίες παρανοήσεων, είτε για πιο επιτυχημένα μαθησιακά αποτελέσματα, είτε για να μπορούν να γίνουν κατανοητά από το ευρύ κοινό. Από την άλλη μεριά, ελάχιστοι ήταν εκείνοι που υποστήριξαν ότι δεν χρειάζεται να μοιάζει, με το επιχείρημα ότι σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν το ίδιο το αντικείμενο που αναπαρίσταται. Για αυτούς που βίωσαν διδασκαλίες στις οποίες αναφέρθηκαν «τα μοντέλα», το γεγονός ότι η πλειοψηφία εξέφρασε την αντίληψη περί μεγάλου βαθμού ομοιότητας του μοντέλου με τον στόχο, δείχνει ότι αυτά που διδάχτηκαν δεν ήταν τα κατάλληλα ή αρκετά ώστε να τους αλλάξει την αντίληψη περί αντίγραφου.

Η αντίληψη ότι το πρωτότυπο και το μοντέλο πρέπει να ταυτίζονται εντοπίστηκε και στις αντιλήψεις περί πολλαπλότητας των μοντέλων (Διάγραμμα 3). Σύμφωνα με αυτές, η πολλαπλότητα των μοντέλων απορρέει από το γεγονός ότι οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα, ώστε να καταλήξουν στο πιο ολοκληρωμένο και τέλειο, δηλαδή σε αυτό που θα ταυτίζεται με το πρωτότυπο. Κατά τα λοιπά, αν εξαιρέσουμε τις αντιλήψεις που διακρίνονταν από ασάφεια ή άγνοια, οι πρωτοετείς φοιτητές/τριες των δύο τμημάτων κατέχουν την αντίληψη ότι τα πολλά μοντέλα

επιτρέπουν τις μεταξύ τους συγκρίσεις ώστε να προκύψουν έγκυρα και ακριβή αποτελέσματα. Οι δε τριτοετείς φοιτητές του ΠΤΔΕ, εστίασαν περισσότερο στο ότι η πολλαπλότητα απορρέει από την διαφορετική αντιληπτική ικανότητα του κάθε ατόμου. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το συγκεκριμένο εύρημα είναι συνυφασμένο με την αντίληψη περί σύνδεσης των μοντέλων με την διδασκαλία. Δηλαδή, ίσως αυτοί οι συμμετέχοντες θεωρούν ότι πρέπει να δοκιμαστούν διαφορετικά μοντέλα διδασκαλίας στην σχολική τάξη, επειδή κάθε μαθητής έχει διαφορετικό τρόπο να αντιλαμβάνεται έννοιες και φαινόμενα.

Για τα είδη των μοντέλων, ένα πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να βγει για όλους τους συμμετέχοντες είναι ότι δέχονται ότι τα μοντέλα μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές. Δεν βρέθηκαν απαντήσεις στις οποίες είχε επιλεγεί ένα μοντέλο, ή ένα είδος μοντέλων (π.χ. μόνο οπτικά, ή μόνο χειροπιαστά). Το γεγονός ωστόσο, ότι στην πλειοψηφία επιλέγηκαν μόνο ένα είδος οπτικού ή μόνο ένα είδος απτού μοντέλου (πχ. μόνο το σκίτσο και όχι η προσομοίωση, ή μόνο το πρόπλασμα του πλαστικού αυτιού και όχι η υδρόγειος) δείχνει μη ξεκάθαρες αντιλήψεις για όλες τις ομάδες των συμμετεχόντων για το τι τελικά θεωρούν ότι κάτι είναι μοντέλο και κάτι άλλο όχι. Τέλος, ενώ το εύρημα της μη επιλογής του λεκτικού κανόνα και της μαθηματικής εξίσωσης ως μοντέλο ήταν μάλλον αναμενόμενο, η αντίστοιχη μη επιλογή της υδρογείου από τους συμμετέχοντες (μόνο ένας στους πέντε την θεωρεί μοντέλο) θεωρείται μη αναμενόμενο εύρημα. Όπως το έργο είναι διατυπωμένο (δεν δίνεται η ευκαιρία στους συμμετέχοντες να δικαιολογήσουν τις επιλογές τους) δεν μπορεί να βγει ασφαλής ερμηνεία για αυτό το εξαγόμενο. Ωστόσο, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η υποβάθμιση της αναφοράς τη υδρογείου ως μοντέλο του σχήματος της Γης στα σχολικά βιβλία μπορεί να ευθύνεται για την αντίληψη ότι η υδρόγειος δεν είναι μοντέλο.

Συζητώντας τα παραπάνω αποτελέσματα υπό το πρίσμα των επιπέδων ανάλυσης που έχουν διαμορφωθεί στις σχετικές έρευνες της βιβλιογραφίας (βλέπε Παράρτημα Β) και εξαιρώντας τι αντιλήψεις στις οποίες υποδηλώνονταν άγνοια ή ασάφεια, μπορούμε να σημειώσουμε τα εξής:

● Η κυρίαρχη αντίληψη των συμμετεχόντων και των τριών ομάδων ότι το μοντέλο πρέπει να μοιάζει με τον στόχο που αναπαριστά ή να είναι αντίγραφο, μπορεί να ταξινομηθεί στο επίπεδο των αφελών ιδεών – χαμηλό επίπεδο ιδεών (πχ. Schwarz & White, 2005; Πετρίδου κα. 2008).

● Τόσο οι αντιλήψεις των πρωτοετών όσο και αυτών των τριτοετών φοιτητών/τριών του ΠΤΔΕ (τα μοντέλα αποτελούν αντικείμενα / δείγματα για κάτι καινούριο – τα μοντέλα σχετίζονται με την διδασκαλία αντίστοιχα) – για τις οποίες μετρήθηκαν τα υψηλότερα ποσοστά – μπορούν να ταξινομηθούν στο Επίπεδο 1 των αντιλήψεων

(χαμηλό επίπεδο ιδεών – αφελών ιδεών) σύμφωνα με την ταξινόμηση των Βραγοτέρης & Ψύλλος, (2017); Πετρίδου & Ψύλλος, (2008); Schwarz & White, (2005).

● Όσο αφορά την αντιστοίχιση των κυρίαρχων αντιλήψεων των αντίστοιχων φοιτητών/τριών του ΠΤΝ σε επίπεδα ανάλυσης, οι οποίοι κατά κύριο λόγο νοηματοδότησαν τα μοντέλα μέσω παραδειγμάτων, σημειώνουμε ότι στην βιβλιογραφία η νοηματοδότηση των μοντέλων μέσω παραδειγμάτων και μόνο με αυτά, δεν έχει συμπεριληφθεί σε επίπεδα ανάλυσης, ίσως γιατί στα σχετικά διατυπωμένα έργα, ο ζητούμενος ορισμός του μοντέλου δεν συνοδεύεται από την παράθεση ενός παραδείγματος. Για παράδειγμα, στην διατύπωση των Crawford & Cullin (2005) το έργο διατυπώνεται ως «Τι είναι ένα επιστημονικό μοντέλο;» (σελ. 313) χωρίς να ζητείται κάποιο παράδειγμα. Με βάση τα παραδείγματα μοντέλων που έγραψαν οι συμμετέχοντες του ΠΤΝ για τα οποία δεν δόθηκαν περαιτέρω εξηγήσεις και τα οποία, μετά από προσωπική επικοινωνία με τον διδάσκοντα, ήταν αυτά που αναφέρθηκαν στο μάθημα, μπορούμε να ταξινομήσουμε τις σχετικές αντιλήψεις στο επίπεδο 1, δηλαδή στο χαμηλό επίπεδο ιδεών, επειδή τα ανώτερα επίπεδα σχετίζονται με την αντίληψη περί αναπαράστασης και του σκοπού που εξυπηρετεί αυτή, κάτι που δεν διαφαίνεται από την παράθεση και μόνο ενός παραδείγματος βιβλιογραφίας (βλέπε Παράρτημα Β).

● Οι αντιλήψεις όλων των συμμετεχόντων ότι η ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων οφείλεται στην ανάγκη των επιστημόνων να φτιάξουν το καλύτερο μοντέλο (πολλές φορές αυτό που θα μοιάζει πιο πολύ με το πρωτότυπο) ή στην διαφορετική αντιληπτική ικανότητα του κάθε ατόμου μπορούν τα ταξινομηθούν στα δύο χαμηλά επίπεδα αντιλήψεων σύμφωναα με την ταξινόμηση των Lazenby et al. (2020). Κατά την πρόταση αυτή, τέτοιες αντιλήψεις είναι συνυφασμένες με την πεποίθηση ότι παρά την ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων υπάρχει ένα και μόνο σωστό μοντέλο για το δεδομένο φαινόμενο αλλά και ότι τα μοντέλα είναι οπτικές αναπαραστάσεις χρήσιμα για την διδασκαλία και μάθηση των επιστημονικών φαινομένων. Βρέθηκαν αντιλήψεις που θα μπορούσαν να ταξινομηθούν στα δύο ανώτερα επίπεδα (πχ. ότι τα πολλαπλά μοντέλα είναι αποτέλεσμα διαφορετικών ερμηνειών), ωστόσο, η συχνότητα εμφάνισης τους ήταν μικρή.

● Η αντίληψη ότι τα μοντέλα μπορεί να είναι δισδιάστατα ή τρισδιάστατα που αναδείχθηκε μέσω των απαντήσεων των φοιτητών/τριών, μπορεί να ταξινομηθεί στο μεσαίο επίπεδο ιδεών (Schwarz & White, 2005, βλέπε Παράρτημα Β). Μικρό ποσοστό των αντιλήψεων μπορεί να ταξινομηθεί στο ανώτερο επίπεδο, αφού λίγοι φοιτητές αναγνώρισαν τον λεκτικό κανόνα ως μοντέλο.

● Κατά τα λοιπά βρέθηκαν όλες οι κατηγορίες που έχουν αναγνωριστεί στα επίπεδα ανάλυσης όλων των ερευνητικών ομάδων (βλέπε Παράρτημα Β). Σημειώνουμε ωστόσο, με βάση το ποσοστό των ΜΝ που μετρήθηκαν ανά κατηγορία, ότι μικρό

ποσοστό των αντιλήψεων όλων των φοιτητών/τριών του δείγματος μπορεί να ταξινομηθεί στο μεσαίο ή στο επίπεδο των ιδεών σύμφωνες με την επιστημονική άποψη για όλες τις όψεις της φύσης των μοντέλων (νοηματοδότηση του «μοντέλου», τα είδη των μοντέλων, τον βαθμό ομοιότητας του μοντέλου με τον στόχο που αναπαριστά και την πολλαπλότητα των μοντέλων).

Συμπερασματικά, οι αντιλήψεις των συμμετεχόντων για την φύση των μοντέλων παρουσιάζουν διαφορές, οι οποίες πιθανότατα οφείλονται στο ακαδημαϊκό υπόβαθρο των συμμετεχόντων. Ωστόσο, παρουσιάζουν και ομοιότητες σε όψεις της φύσης των μοντέλων, που δεν έγιναν αντικείμενα διαπραγμάτευσης στα σχετικά μαθήματα των δύο Τμημάτων, όπως στην ομοιότητα του μοντέλου με τον στόχο, στην πολλαπλότητα και στα αναπαραστατικά χαρακτηριστικά των μοντέλων. Υπό το πρίσμα των επιπέδων ανάλυσης, τόσο οι αντιλήψεις των πρωτοετών όσο και των τριτοετών ταξινομούνται στα κατώτερα επίπεδα ανάλυσης, το οποίο δείχνει μία αντίληψη μακριά από την επιστημονική άποψη των συμμετεχόντων και των τριών ομάδων (των πρωτοετών του ΠΤΔΕ, του ΠΤΝ και των τριτοετών του ΠΤΔΕ) για τα μοντέλα στο πλαίσιο των ΦΕ.

Αντιλήψεις για την φύση της μοντελοποίησης

Οι αντιλήψεις για την φύση της μοντελοποίησης για όλες τις ομάδες των συμμετεχόντων είναι μεταξύ τους όμοιες και μάλιστα διακρίνονται από άγνοια περισσότερο, παρά από ασάφεια. Η μοντελοποίηση δεν αφορά μόνο την κατασκευή μοντέλων άλλα αποτελεί μία πολυδιάστατη διαδικασία που περιλαμβάνει μία σειρά σταδίων, όπως την διενέργεια παρατηρήσεων για το υπό μελέτη φαινόμενο, την κατασκευή του μοντέλου, την αξιολόγηση του με διάφορα κριτήρια και την αναθεώρησή του και εφαρμογή σε νέες καταστάσεις. Αυτήν την ειδική γνώση οι συμμετέχοντες φαίνεται να μην την έχουν αναπτύξει με κάποιον τρόπο (πχ. ούτε στα πλαίσια των ακαδημαϊκών μαθημάτων) και αυτό είναι κάτι που αντανακλάται στα αποτελέσματα.

Προκειμένου οι συμμετέχοντες να αναπτύξουν γνώση για την κατασκευή των μοντέλων χρειάζεται οι ίδιοι να εμπλακούν σε ανάλογες εμπειρίες (Schwarz & White, 2005). Αν και στο εργαστηριακό τμήμα του μαθήματος «Οι έννοιες της Φυσικής και οι Αναπαραστάσεις τους» του β΄ εξαμήνου προβλέπεται οι φοιτητές/τριες του ΠΤΔΕ να εμπλακούν σε διαδικασίες μοντελοποίησης, λόγω της ιδιαίτερης κατάστασης με τον κορωνοϊό, οι τριτοετείς δεν είχαν την ευκαιρία να βιώσουν τέτοιο μαθησιακό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, μπορεί να εξηγηθεί και το υψηλό ποσοστό άγνοιας για τις μεθόδους κατασκευής των μοντέλων που εξέφρασε η συγκεκριμένη ομάδα.

Αναφορικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες αντιλήψεων και εξετάζοντας τες υπό το πρίσμα των επιπέδων ανάλυσης, δεν σχηματίστηκε κάποια κατηγορία αντιλήψεων που θα μπορούσε να ταξινομηθεί στο ανώτερο επίπεδο ανάλυσης, όπου περιλαμβάνονται αντιλήψεις στις οποίες αναγνωρίζεται η κυκλική επαναληπτική διαδικασία κατασκευής ενός μοντέλου. Στην καλύτερη των περιπτώσεων, βρέθηκαν αντιλήψεις, σε μικρό ποσοστό εμφάνισης, που θα μπορούσαν να ταξινομηθούν στο μεσαίο επίπεδο των ιδεών, σύμφωνα με τις οποίες ο σκοπός που καλείται να εξυπηρετήσει ένα μοντέλο καθοδηγεί τον κατασκευαστή του, ή ότι η κατασκευή ενός μοντέλου καθοδηγείται από τα δεδομένα. Και πάλι όμως αυτού του είδους οι αντιλήψεις υπερεκτιμούν τα δεδομένα ή τον κατασκευαστή στην κατασκευή των μοντέλων και όχι την ερμηνεία που δίνει ο ίδιος ο κατασκευαστής στα δεδομένα (Lazenby et al., 2020). Οι υπόλοιπες αντιλήψεις (πχ. η κατασκευή γίνεται ώστε να μοιάζει το μοντέλο με το πρωτότυπο) ταξινομούνται στα χαμηλά επίπεδα των αντιλήψεων.

Αντιλήψεις για τον σκοπό των μοντέλων

Η φύση της μοντελοποίησης δεν ήταν η μόνη όψη στην οποία παρατηρήθηκε υψηλό ποσοστό ασαφών αντιλήψεων. Το ίδιο συνέβη και για την όψη που αφορά τον σκοπό των μοντέλων αλλά μόνο για τους πρωτοετείς φοιτητές/τριες και των δύο τμημάτων. Οι σχετικές αντιλήψεις των τριτοετών φοιτητών ήταν ποικίλες και συσχετίστηκαν πρωτίστως με την χρησιμότητα των μοντέλων στην ανάπτυξη κατανόησης ενός φαινομένου και δευτερευόντως για λόγους διδακτικούς. Το μικρό ποσοστό ασαφών ΜΝ των συμμετεχόντων του τρίτου έτους συγκριτικά με αυτό των πρωτοετών, υποδηλώνει ότι η εμπλοκή με τα ακαδημαϊκά μαθήματα των ΦΕ και της διδακτικής τους μπορεί να συνεισφέρει στο να αποκτήσουν οι φοιτητές/τριες ενημερωμένες αντιλήψεις για τον σκοπό των μοντέλων. Ωστόσο, σημειώνουμε ότι σε αυτές τις αντιλήψεις έλειπε η προβλεπτική ισχύ των μοντέλων, η οποία έχει αναγνωριστεί ίσως ως η πιο σημαντική χρήση των μοντέλων για τους επιστήμονες (πχ. Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002). Από την άλλη, αξίζει να σημειωθεί ότι οι αντιλήψεις όλων των συμμετεχόντων δεν συσχετίστηκαν μόνο με τον επικοινωνιακό ρόλο των μοντέλων, ο οποίος είναι βέβαια υπαρκτός αλλά όχι βασικός. Και αυτό γιατί βρέθηκαν περισσότερες αθροιστικά ΜΝ που αφορούσαν στον ρόλο των μοντέλων τόσο στην στην ανάπτυξη κατανόησης όσο και στην ανάπτυξη / δοκιμασία μίας θεωρίας.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα υπό το πρίσμα των επιπέδων ανάλυσης επικεντρώνοντας στις σαφείς ΜΝ, βρέθηκαν κατηγορίες αντιλήψεων που θα μπορούσαν να ταξινομηθούν στα επίπεδα ανάλυσης που έχουν διαμορφωθεί στην βιβλιογραφία. Αυτό σημαίνει ότι δεν βρέθηκαν νέες κατηγορίες που θα συμπλήρωναν τις ήδη υπάρχουσες στα επίπεδα ανάλυσης. Μάλιστα, οι κατηγορίες

που σχηματίστηκαν ταξινομούνται στο μεσαίο επίπεδο της επιστημονικής άποψης των αντιλήψεων και όχι σε αυτά του χαμηλού ή των αφελών αντιλήψεων. Για παράδειγμα, οι αντιλήψεις περί δοκιμασίας / ανάπτυξης θεωρίας μπορούν να ταξινομηθούν στο πιο υψηλό επίπεδο, ενώ αυτές περί του επικοινωνιακού ρόλου των μοντέλων στο μεσαίο (βλέπε Παράρτημα Β).

Αντιλήψεις για την αλλαγή των μοντέλων

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στην πλειοψηφία τους οι συμμετέχοντες και των τριών γκρουπ κατείχαν την αντίληψη ότι τα μοντέλα είναι δυνατόν να αλλάξουν, μία άποψη που είναι σύμφωνη με την επιστημονική άποψη. Τα επιχειρήματα στράφηκαν κυρίως στο ότι ένα μοντέλο αλλάζει όταν δεν ικανοποιεί τους σκοπούς του κατασκευαστή του ή όταν έρχονται στην επιφάνεια νέα δεδομένα.

Υπό το πρίσμα των επιπέδων ανάλυσης, καταρχάς βρέθηκαν αντιλήψεις που ταξινομούνται στο επίπεδο των αφελών αντιλήψεων, σύμφωνα με τις οποίες τα μοντέλα δεν αλλάζουν. Από εκεί και πέρα, οι αντιλήψεις ότι τα μοντέλα αλλάζουν επειδή βρέθηκε κάτι λανθασμένο σε αυτά ή επειδή απώτερος στόχος είναι η απόλυτη ταύτιση με το πρωτότυπο ή ότι δεν εξυπηρετούν εκπαιδευτικούς σκοπούς μπορούν να ταξινομηθούν σε χαμηλό επίπεδο, στο οποίο βρίσκονται αντιλήψεις που συγκλίνουν στην ιδέα της ύπαρξης ενός και μοναδικού μοντέλου (Lazenby et al., 2020). Η ιδέα ότι ένα μοντέλο αλλάζει επειδή βρέθηκαν νέα δεδομένα ταξινομείται στο μεσαίο επίπεδο ιδεών, επειδή η έμφαση δίνεται στα δεδομένα και όχι σε νέες ερμηνείες που αυτά επιφέρουν. Τέλος, η ιδέα ότι τα μοντέλα αλλάζουν επειδή είναι προσωρινά από την φύση τους κάτι που συνάδει με την φύση της επιστήμης μπορεί να ταξινομηθεί στο ανώτερο επίπεδο ιδεών, αυτό που περιλαμβάνει τις πιο ενημερωμένες αντιλήψεις (βλέπε Παράρτημα Β).

4.2 Τελικές Επισημάνσεις

Στον τομέα των ΦΕ τα μοντέλα και η μοντελοποίηση διαδραματίζουν εξέχοντα ρόλο στην διαμόρφωση νέων θεωριών, στην δοκιμασία ιδεών και στην ανάλυση δεδομένων. Μιας και οι μαθητές χρειάζεται να κατανοήσουν τις διαδικασίες της επιστήμης, και επειδή η μοντελοποίηση είναι θεμελιώδης για την επιστήμη, πολλοί εκπαιδευτικοί των Φυσικών Επιστημών έχουν υποστηρίξει μία μοντέλο-κεντρική διδασκαλία (Schwarz & White, 2005).

Η ανάλυση των προγραμμάτων Σπουδών ΦΕ της Α/θμιας Εκπαίδευσης ανέδειξε ακριβώς αυτήν την παραπάνω κατεύθυνση. Στο σκεπτικό του σχεδιασμού αυτών των προγραμμάτων Σπουδών επιδιώκεται οι μαθητές να μάθουν για την επιστήμη με το να χρησιμοποιούν ή/και να κατασκευάζουν μοντέλα καθώς και να συζητούν για το ρόλο και τη φύση τους. Από το Νηπιαγωγείο μέχρι και την τελευταία τάξη του

Δημοτικού Σχολείου οι μαθητές καλούνται να εμπλακούν σε πρακτικές μοντελοποίησης, δηλαδή να κατασκευάζουν μοντέλα ώστε να απεικονίσουν, να εξηγήσουν ή να προβλέψουν φαινόμενα, να αναθεωρούν τα μοντέλα τους, να συγκρίνουν διαφορετικά μοντέλα του ίδιου στόχου και να χρησιμοποιούν έτοιμα μοντέλα ώστε να απεικονίσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν νέα φαινόμενα (Schwarz et al., 2009).

Κρίνεται λοιπόν απαραίτητο οι εκπαιδευτικοί να γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά της φύσης των μοντέλων και της μοντελοποίησης, ώστε να επιτύχουν τους μαθησιακούς στόχους για τους μαθητές τους.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι η επιτυχία μίας τέτοιας επιδίωξης τίθεται εν αμφιβόλω. Οι αντιλήψεις των φοιτητών/τριών για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση, για όλες σχεδόν τις όψεις κρίθηκαν «μακριά από την επιστημονική άποψη» για τα μοντέλα. Ιδιαίτερα, έρχεται στην επιφάνεια ο προβληματισμός για το πώς, ως μελλοντικοί εκπαιδευτικοί, θα αξιοποιήσουν τα μοντέλα στην διδασκαλία εννοιών ή θα εμπλέξουν τους μαθητές τους σε πρακτικές μοντελοποίησης, όταν οι ίδιοι διακατέχονται από την αντίληψη ότι ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει όσο το δυνατό με τον στόχο που αναπαριστά. Επιπλέον, ο προβληματισμός γίνεται μεγαλύτερος αν αναλογιστεί κανείς ότι οι φοιτητές/τριες δεν γνωρίζουν τα βήματα της μοντελοποίησης, η οποία αποτελεί βασική πρόταση των Προγραμμάτων Σπουδών. Πώς λοιπόν, θα σχεδιάσουν οι ίδιοι εμπειρίες μοντελοποίησης στους μαθητές τους, όταν αγνοούν την φύση της μοντελοποίησης;

Οι διαφορές στις αντιλήψεις περί μοντέλων των τριτοετών φοιτητών/τριών σε σχέση με αυτές των πρωτοετών του ΠΤΔΕ και του ΠΤΝ τουλάχιστον σε μερικές όψεις (πχ. στον σκοπό του μοντέλου) υποδεικνύουν ότι η συμπερίληψη των μοντέλων και της μοντελοποίησης ως τμήματα του περιεχομένου των ήδη θεσμοθετημένων διδασκόμενων μαθημάτων ΦΕ και της Διδακτικής τους των Παιδαγωγικών Τμημάτων, μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές/τριες να αποκτήσουν ενημερωμένες αντιλήψεις. Στη βιβλιογραφία προτείνεται ότι προκειμένου τα υποκείμενα της μάθησης να συνειδητοποιήσουν ότι τα μοντέλα δεν αποτελούν ακριβείς αναπαραστάσεις της πραγματικότητας αλλά προσεγγίσεις αυτής (κάτι που αποτελεί βασική γνώση) είναι σημαντικό η διδασκαλία του μοντέλου να περιλαμβάνει τους περιορισμούς του και τα όρια του (Χαλκιά, 2012). Για παράδειγμα, σε ένα μοντέλο ηλιοκεντρικού συστήματος, χρειάζεται να τονιστεί ότι το μοντέλο αναπαριστά τις θέσεις των πλανητών ως προς τον Ήλιο και όχι, για παράδειγμα, την διαφορά μεγεθών μεταξύ των πλανητών. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο εξωτερικεύει μία όψη της πραγματικότητας και όχι την πραγματικότητα αυτή καθ’αυτή.

Τα ευρήματα της βιβλιογραφίας υποδεικνύουν ότι διδακτικές παρεμβάσεις βασισμένες στα μοντέλα και στη μοντελοποίηση έχουν θετικές επιδράσεις ως προς τη μάθηση για τα μοντέλα σε εν ενεργεία αλλά και σε μελλοντικούς εκπαιδευτικούς (πχ. Crawford & Cullin, 2004). Ειδικότερα τα αποτελέσματα σε τέτοιου είδους έρευνες έδειξαν ότι διαδικασίες όπως η ενεργή συμμετοχή, η κατασκευή μοντέλων, και η συνεργασία μεταξύ των συμμετεχόντων αλλά και με τους εκπαιδευτές, συνεισφέρουν στην βελτίωση των αντιλήψεων των μελλοντικών εκπαιδευτικών για τα μοντέλα.

Άρα αυτό που χρειάζεται να γίνει είναι να εκπαιδευτούν οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί των Παιδαγωγικών τμημάτων στα μοντέλα και την μοντελοποίηση. Μία τέτοια εκπαίδευση θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις όψεις του περιεχομένου των μοντέλων (φύση, ρόλος, πολλαπλότητα, αλλαγή κτλ), ώστε να μην αποκτήσουν ενημερωμένες αντιλήψεις για κάποιες όψεις και απλοϊκές για άλλες. Το μαθησιακό περιβάλλον που υποστηρίζει μία τέτοια επιμόρφωση χρειάζεται να είναι τέτοιο ώστε οι συμμετέχοντες να εμπλακούν σε όλες τις πρακτικές μοντελοποίησης (κατασκευή, αναθεώρηση, χρήση κτλ). Τα μέχρι τώρα πορίσματα δείχνουν ότι η ενεργός συμμετοχή των υποψηφίων εκπαιδευτικών σε διαδικασίες μοντελοποίησης μπορεί να αυξήσει την κατανόησή τους σε σχέση με τα επιστημονικά μοντέλα και να τους κινητοποιήσουν ώστε να αναπτύξουν παρόμοιες διαδικασίες με τους μαθητές τους (πχ. Windschitl & Thompson, 2006).

4.3 Αλλαγές στο Ερευνητικό Εργαλείο

Στην ενότητα αυτή προτείνονται μερικές αλλαγές στο εργαλείο συλλογής δεδομένων. Οι αλλαγές αυτές προτείνονται ώστε να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα για τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων, μιας και στα αποτελέσματα βρέθηκαν αρκετές ΜΝ που ταξινομήθηκαν ως ασαφείς, ή που η διατύπωση τους δεν είχε σχέση με το ζητούμενο του έργου, γεγονός που εμποδίζει την αποσαφήνιση και ερμηνεία των αντιλήψεων για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση. Επίσης, αυτή η ενότητα γράφτηκε ώστε να συνεισφέρει στο προβληματισμό για το κατάλληλο ερευνητικό εργαλείο συλλογής δεδομένων για τα μοντέλα και την μοντελοποίηση. Ειδικότερα:

● Στην διατύπωση του έργου για το *Τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τη λέξη «μοντέλο» στις Φυσικές Επιστήμες; Να δώσεις ένα ή δύο παραδείγματα,* προτείνεται να απαλειφθεί η πρόταση «να δώσεις ένα δύο παραδείγματα». Στα αποτελέσματα βρέθηκαν αρκετοί συμμετέχοντες οι οποίοι έγραψαν ένα - δύο παραδείγματα μοντέλων προκειμένου να νοηματοδοτήσουν το «μοντέλο». Ωστόσο, αυτού του είδους η νοηματοδότηση δεν προσφέρει επαρκείς πληροφορίες για το τι αντιλαμβάνονται τελικά οι συμμετέχοντες όταν ακούν την λέξη μοντέλο. Ίσως, και για λόγους αποσαφήνισης της απάντησης, η παρότρυνση στους συμμετέχοντες να

στηρίξουν την νοηματοδότηση του όρου μοντέλου να γίνει με ένα συμπληρωματικό εργαλείο συλλογής δεδομένων, πχ. τη συνέντευξη.

● Το έργο σχετικά με την πολλαπλότητα των μοντέλων (*Γιατί κατά τη γνώμη σου οι επιστήμονες χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερα διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;. Αν σε βοηθάει, να αιτιολογήσεις την άποψή σου χρησιμοποιώντας σχετικά παραδείγματα.)* οδήγησε σε αρκετούς συμμετέχοντες να γράψουν απαντήσεις σχετικά με το από πού απορρέει η πολλαπλότητα των μοντέλων ή που οφείλεται η πολλαπλότητα των μοντέλων κάτι που είναι μακριά από το ζητούμενο του έργου (πχ. μία ΜΝ περιελάμβανε την φράση *επειδή κάθε θέμα μπορεί να αναπαρασταθεί με διαφορετικούς τρόπους* και μία άλλη την πρόταση *ο καθένας ερευνητής βρίσκει πολλές φορές ένα δικό του μοντέλο επίλυσης άλλοτε εύκολο άλλοτε δύσκολο*). Για να αποφευχθούν τέτοιου είδους απαντήσεις προτείνεται η ερώτηση να αναδιατυπωθεί ως εξής: *Ποια είναι η χρησιμότητα οι επιστήμονες να χρησιμοποιούν πολλά διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο; Αν σε βοηθάει, να αιτιολογήσεις την άποψη σου χρησιμοποιώντας σχετικά παραδείγματα.*

● Στην ανάλυση των δεδομένων του έργου για το πώς κατασκευάζονται τα μοντέλα, βρέθηκαν αρκετές ΜΝ στις οποίες δεν περιγράφονταν τα βήματα που ακολουθούν οι επιστήμονες για να κατασκευάσουν τα μοντέλα, αλλά τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή (π.χ. με απλά υλικά) ή την συνεργασία των επιστημόνων, τα οποία δεν αποτελούσαν τα ζητούμενα του έργου. Φαίνεται λοιπόν ότι το «πώς» αποτέλεσε ένα πολύ γενικό ερωτηματικό προσδιορισμό, που δεν βοήθησε στην συλλογή των δεδομένων σχετικά με τις αντιλήψεις των συμμετεχόντων για το ποιες μεθόδους χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για την κατασκευή και ανάπτυξη των μοντέλων τους. Το συγκεκριμένο έργο βρέθηκε στη βιβλιογραφία, όπου η σχετική ερώτηση ξεκινούσε με το “how”. Στα ελληνικά όμως η μετάφραση σύμφωνα με τα ευρήματα ίσως θα έπρεπε να είναι «με ποια μέθοδο» και όχι με την πιστή μετάφραση του “how” δηλαδή «πώς». Είχαν επισημανθεί στη βιβλιογραφία προβλήματα που θα προέκυπταν από την μετάφραση των έργων στα ελληνικά και αυτό που αναφέρουμε εδώ επιβεβαιώνει τις σχετικές μας επισημάνσεις. Προτείνεται λοιπόν το σχετικό έργο να αναδιατυπωθεί ως εξής: «Με ποια μέθοδο κατασκευάζονται τα μοντέλα»; με στόχο οι συμμετέχοντες στοχευμένα να γράψουν για τα στάδια της μοντελοποίησης παρά για τα υλικά ή τη συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων.

● Το έργο για το είδος των μοντέλων (έργο 6) θα έπρεπε να περιλαμβάνει την επιλογή ΝΑΙ ΟΧΙ και όχι «κύκλωσε ποια θεωρείς ότι είναι μοντέλο». Και αυτό γιατί κάποιοι από τους συμμετέχοντες δεν κύκλωσαν τίποτα και αυτό δεν είναι ξεκάθαρο αν σημαίνει ότι για αυτούς καμία από τις προτεινόμενες επιλογές δεν είναι μοντέλο ή αν υποδηλώνει άγνοια. Εναλλακτικά, προτείνεται αυτό το έργο να απαλειφθεί από το ερωτηματολόγιο αφού δεν έβγαλε κάποια σημαντικά ευρήματα σε σχέση

κυρίως με το «γιατί» οι φοιτητές επέλεξαν (ή δεν επέλεξαν) τα συγκεκριμένα ως μοντέλα.

● Το έργο για τον σκοπό των μοντέλων (Για ποιον σκοπό νομίζεις οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα) φάνηκε να στερείται σαφήνειας. Αυτό διαπιστώθηκε από τις αρκετές ασαφείς απαντήσεις που έγραψαν οι συμμετέχοντες (π.χ. για πειράματα). Ίσως ακόμα πιο στοχευμένες απαντήσεις θα μπορούσαν να ληφθούν με μία ερώτηση πολλαπλής επιλογής στην οποία να περιλαμβάνονται οι αντιλήψεις που ήρθαν στην επιφάνεια. Για παράδειγμα:

Ποιο από τα παρακάτω νομίζεις ότι περιγράφει την βασική χρησιμότητα των μοντέλων για τους επιστήμονες:

Α. για να αναπτύξουν/δοκιμάσουν την θεωρία τους

Β. για να μην καταστρέψουν το πρωτότυπο

Γ. για να βοηθήσουν το κοινό να κατανοήσει την θεωρία τους

Δ. για να αντιγράψουν το πρωτότυπο

● Στο έργο σχετικά με την αλλαγή του μοντέλου, στην βιβλιογραφία συναντήσαμε αρκετά συχνά έργα τα οποία πληροφορούσαν τους συμμετέχοντες εκ των προτέρων ότι τα μοντέλα αλλάζουν. Ωστόσο, τα ευρήματα στη δική μας έρευνα έδειξαν ότι μία τέτοια γνώση δεν κατέχουν οι συμμετέχοντες, αφού αρκετοί από αυτούς υποστήριξαν ότι τα μοντέλα δεν αλλάζουν. Ως εκ τούτου, υποστηρίζουμε την διατύπωση ενός έργου, στο οποίο οι συμμετέχοντες να είναι ελεύθεροι να υποστηρίξουν αν αλλάζει ή όχι ένα μοντέλο. Μάλιστα, σύμφωνα με τις απαντήσεις, προτείνουμε τον σχεδιασμό ενός έργου πολλαπλής επιλογής, ώστε να αποφευχθούν οι ασάφειες των επιχειρημάτων ή απαντήσεις τύπου «δεν γνωρίζω». Με βάση το περιεχόμενο των ΜΝ, ένα τέτοιο έργο θα μπορούσε να είναι το παρακάτω:

Από την στιγμή που ένας επιστήμονας αναπτύξει ένα μοντέλο για το πώς συμπεριφέρεται ένα πρωτότυπο:

Α. αυτό είναι δυνατό να αλλάξει μετά από επανεκτίμηση των δεδομένων για τη συμπεριφορά του πρωτότυπου,

Β. αυτό είναι δυνατόν να αλλάξει ώστε να μοιάζει όσο το δυνατό περισσότερο με το πρωτότυπο,

Γ. αυτό δεν είναι δυνατόν να αλλάξει, γιατί κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι ο επιστήμονας έκανε λάθος για τη συμπεριφορά του πρωτότυπου,

Δ. σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να αλλάξει και σε κάποιες άλλες περιπτώσεις δεν μπορεί να αλλάξει.

Οι αλλαγές που αναλύθηκαν παραπάνω φαίνεται ότι αλλάζουν την μεθοδολογική κατεύθυνση να επιλέξουμε έργα ανοικτού τύπου, αφού στην καινούρια εκδοχή του ερευνητικού εργαλείου προτείνουμε την αντικατάσταση δύο έργων ανοικτού τύπου με έργα κλειστού τύπου. Ωστόσο, αυτή η αλλαγή στον τύπο των έργων θεωρούμε ότι είναι χρήσιμο να γίνει ώστε να κατευθύνουμε τους συμμετέχοντες να διατυπώσουν πιο στοχευμένες απαντήσεις στα ζητούμενα των έργων. Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.2 μία χρησιμότητα των έργων ανοικτού τύπου είναι ότι, με βάση τις απαντήσεις, μπορούν να σχεδιαστούν έργα κλειστού τύπου. Αυτήν ακριβώς την χρησιμότητα εκμεταλλευόμαστε ώστε να προτείνουμε τις αλλαγές που σημειώθηκαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching , 37*, σσ. 295-317.

Akerson, V. L., Colak, H., & Pongsanon, K. (2011). Relationships between elementary teachers' conceptions of scientific modeling and the nature of science. Στο M. S. Khine, & I. Saleh, *Models and Modeling* (σσ. 221-237). Dordrecht.: Springer.

Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. Στο J. K. Gilbert, & C. J. (Eds.), *Developing models in science education* (σσ. 41-57). Netherslands: Kluwer Academic.

Bryman, A. (2017). *Μέθοδοι Κοινωνικής Έρευνας.* (Α. Αϊδίνης, Επιμ., & Π. Σακελλαρίου, Μεταφρ.) Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg.

Cheng, M. F., & Lin, J. L. (2015). Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education, , 37* (15), σσ. 2453-2475.

Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education , 23* (2), σσ. 195-212.

Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research , 1* (1), σσ. 1-11.

Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education , 27* (2), σσ. 183-198.

Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education , 26* (11), σσ. 1379-1401.

Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education , 26*, σσ. 1379-1401.

Crawford, B., & Cullin, M. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. *Research and the quality of science education* , σσ. 309-323.

Dalvi, T., Silva Mangiante, E., & Wendell, K. (2021). Identifying pre-service teachers' conceptions about the NGSS practices using a Curriculum Critique and Revision (CCR) Task. *Journal of Science Teacher Education , 32* (2), σσ. 123-147.

Daly, S., & Bryan, L. A. (2010). Model use choices of secondary teachers in nanoscale science and engineering education. *Journal of Nano Education , 2*, σσ. 76-90.

Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of advanced nursing , 62*, σσ. 107-115.

Everett, S. A., Otto, C. A., & Luera, G. R. (2009). Pre service elementary teachers' growth in knowledge of models in a science capstone course. *International Journal of Science and Mathematics Education , 7* (6), σσ. 1201-1225.

Gall, M., Borg, M., & Gall, J. (1996). *Educational Research: An introduction.* New York: Longman.

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Models of modelling. Στο J. K. Gilbert, & R. Justi, *Modelling-based teaching in science education* (σσ. 17-40). Cham: Springer.

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Models of modelling. Στο J. Gilbert, & R. Justi, *Modelling-based teaching in science education* (σσ. 17-40). Cham.: Springer.

Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. In Developing models in science education. Στο J. Gilbert, & C. Boulter, *Developing models in Science Education* (σσ. 193-208). Dordrecht: Springer.

Gilbert, S. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching , 28* (1), σσ. 73-79.

Gilbert, S. W. (1991). Model Building and Definition of Science. *Journal of research in science teaching , 28* (1), σσ. 73-79.

Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse education today , 24*, σσ. 105-112.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science teaching , 28* (9), σσ. 799-822.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science teaching , 28*, σσ. 799-822.

Grünkorn, J., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework., ,. *International Journal of Science Education , 10*, σσ. 1651-1684.

Heijnes, D., van Joolingen, W., & Leenaars, F. (2018). Stimulating scientific reasoning with drawing-based modeling. *Journal of Science Education and Technology , 27* (1), σσ. 45-56.

Joolingen, v., W. R., S. J., & Leenaars, F. (2019). Drawing-based modeling in teaching elementary biology as a diagnostic tool. Στο A. U. zu Belzem, & D. r Kruger, *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (σσ. 131-145). Cham: Springer.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of science education , 24* (12), σσ. 1273-1292.

Justi, R., & Van Driel, J. (2006). The use of the interconnected model of teacher professional growth for understanding the development of science teachers' knowledge on models and modelling. *Teaching and Teacher Education , 22* (4), σσ. 437-450.

Khan, S., & Krell, M. (2021). Patterns of Scientific Reasoning Skills among Pre-Service Science Teachers: A Latent Class Analysis. *Education Sciences , 11* (10), σ. 647.

Lazenby, K., & Becker, N. M. (2021). Evaluation of the students' understanding of models in science (SUMS) for use in undergraduate chemistry. *Chemistry Education Research and Practice , 22* (1), σσ. 62-76.

Lazenby, K., Stricker, A., Brandriet, A., Rupp, C. A., Mauger-Sonnek, K., & Becker, N. M. (2020). Mapping undergraduate chemistry students' epistemic ideas about models and modeling. *Journal of Research in Science Teaching , 57* (5), σσ. 794-824.

Lee, S. W., Chang, H. Y., & Wu, H. K. (2017). Students' views of scientific models and modeling: Do representational characteristics of models and students' educational levels matter? *Research in Science Education , 47* (2), σσ. 305-328.

Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2015). Examining learning through modeling in K-6 science education. *Journal of Science Education and Technology , 24* (2-3), σσ. 192-215.

Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review , 64* (4), σσ. 471-492.

Mertens, D. M. (2010). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods.* California: Sage publications.

Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review* (13), σσ. 52-73.

Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education , 33* (8), σσ. 1109-1130.

Oliva, J. M., & Blanco-López, A. (2021). Development of a questionnaire for assessing Spanish-speaking students' understanding of the nature of models and their uses in science. *Journal of Research in Science Teaching* , σσ. 852-878.

Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education , 25* (11), σσ. 1333-1352.

Schwartz, R. S. (2019). Modeling Competence in the Light of Nature of Science. Στο M. a. Education, *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (σσ. 59-77). Cham: Springer.

Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and instruction , 23* (2), σσ. 165-205.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., και συν. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching , 46* (6), σσ. 632-654.

Soulios, I., & Psillos, D. (2016). Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process . *International Journal of Science Education , 38*, σσ. 1212-1233.

Soulios, I., & Psillos, D. (2016). Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process. *International Journal of Science Education , 38* (7), σσ. 1212-1233.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International journal of science education , 24* (4), σσ. 357-368.

Van Driel, J. H., & Verloop, N. ,. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International journal of science education , 24* (12), σσ. 1255-1272.

Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education , 21* (11), σσ. 1141-1153.

Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of preservice instruction on teachers' understandings of model-based inquiry. *American educational research journal , 43* (4), σσ. 783-835.

Yenilmez Turkoglu, A., & Oztekin, C. (2016). Science teacher candidates' perceptions about roles and nature of scientific models. *Research in Science & Technological Education , 34* (2), σσ. 219-236.

Yenilmez Turkoglu, A., & Oztekin, C. (2016). Science teacher candidates' perceptions about roles and nature of scientific models. *Research in Science & Technological Education , 34* (2), σσ. 219-236.

Yenilmez Turkoglu, A., & Oztekin, C. (2016). Science teacher candidates' perceptions about roles and nature of scientific models. *Research in Science & Technological Education , 34* (2), σσ. 219-236.

Yenilmez Turkoglu, A., & Oztekin, C. (2016). Science teacher candidates' perceptions about roles and nature of scientific models. *Research in Science & Technological Education , 34*, σσ. 219-236.

Zoupidis, A., Pnevmatikos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2016). The impact of procedural and epistemological knowledge on conceptual understanding: the case of density and floating–sinking phenomena. *Instructional Science , 44* (4), σσ. 315-334.

zu Belzen, A. U., van Driel, J., & Krüger, D. (2019). Introducing a framework for modeling competence. Στο A. U. zu Belzen, J. van Driel, & D. Krüger, *Towards a competence-based view on models and modeling in science education* (σσ. 3-19). Cham.: Springer.

Βραγοτέρης, Ε., & Ψύλλος, Δ. (2017). Αντιλήψεις εκπαιδευτικών ΦΕ ως προς τα επιστημονικά μοντέλα κακι διδακτική τους αξιοποίηση. Στο Σ. Δ., Μ. Α., & Α. Κοκολάκη, *Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Γεφυρώνοντας το Χάσμα μεταξύ Φυσικών Επιστημών, Κοινωνίας και Εκπαιδευτικής Πράξης* (σσ. 485-491). Ρέθυμνο: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης.

Ζουπίδης, Α. (2012). *Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας: Εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης.* Φλώρινα: Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών-Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

ΙΕΠ. (2014). *Νέο Σχολείο (Σχολείο 21ου αιώνα- Νέο Πρόγραμμα Σπουδών. Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού για το "Νέο Σχολείο".* Αθήνα: Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων.

ΙΕΠ. (2014). *Νέο Σχολείο (Σχολείο 21ου αιώνα)- Νέο Πρόγραμμα Σπουδών. Πρόγραμμα Σπουδών Νηπιαγωγείου.* Αθήνα: Υπουργείο Παιδείς και Θρησκευμάτων.

Ιωσηφίδης. (2008). *Ποιοτικές μέθοδοι έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες.* Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική.

Καπουσίζη, Δ. (2012). *Όψεις των μοντέλων και της μοντελοποίησης στη διδασκαλία και μάθηση Φυσικών Επιστημών: διερεύνηση των αντιλήψεων μελλοντικών εκπαιδευτικών για τα μοντέλα στις Φυσικές Επιστήμες.* Φλώρινα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

Κουκιόγλου, Σ., & Ψύλλος, Δ. (2020). Ενισχύοντας τις επιστημολογικές αντιλήψεις μαθητών γυμνάσιου για τα επιστημονικά μοντέλα. Στο Α. Σπύρτου, Π. Παπαδοπούλου, Α. Ζουπίδης, Γ. Μαλανδράκης, & Π. Καριώτογλου, *Πρακτικά 11ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιώνστην Εκπαίδευση. Επαναπροσδιορίζοντας τη Διδασκαλία και Μάθηση των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας στον 21ο αι.* (σσ. 850-855). Φλώρινα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

Πετρίδου, Ε., & Ψύλλος, Δ. (2008). Οι αντιλήψεις των υποψηφίων δασκάλων για τα μοντέλα. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση , 1*, σσ. 255-268.

Σούλιος, Ι., & Ψύλλος, Δ. (2013). Αναπτύσσοντας τις επιστημολογικές αντιλήψεις για τα μοντέλα κατά την εφαρμογή μιας διερευνητικής διδακτικής μαθησιακής σειράς. Στο Δ.

Βαβουγυιός, & Σ. Παρασκευόπουλος, *8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής Των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 718-726). Βόλος: Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Σούλιος, Ι., & Ψύλλος, Δ. (2011). Διερευνώντας τις οπτικές ιδιότητες των υλικών:Η επίδραση μίας διαδικασίας διερυενητικής μοντελοποίησης στις επιστημολογικές αντιλήψεις για τα μοντέλα. Στο Γ. Παπαγεωργίου, & Γ. (. Κουντουργιώτης, *Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση - Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής έρευνας και πράξης στις Φυσικές Επιστήμες* (σσ. 899-907). Αλεξανδρούπολη: Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Σχολή Επιστημών Αγωγής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Τσιώλης, Γ. (2015). Ανάλυση ποιοτικών δεδομένων: διλήμματα, δυνατότητες, διαδικασίες. Στο Γ. Πυργιωτάκης, & Χ. Θεοφιλίδης, *Ερευνητική Μεθοδολογία στις Κοινωνικές Επιστήμες και στην Εκπαίδευση. Συμβολή στην επιστημολογική θεωρία και την ερευνητική πράξη* (σσ. 473-498). Αθήνα: Πεδίο.

Τσιώλης, Γ. (2014). *Μέθοδοι και τεχνικές ανάλυσης στην ποιοτική έρευνα.* Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική.

Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες:Θεωρητικά Ζητήματα, Προβληματισμοί, Προεκτάσεις.* Αθήνα: Πατάκης.

Παράρτημα Α

Ερωτηματολόγιο

1. *Τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τη λέξη «μοντέλο» στις Φυσικές Επιστήμες; Να δώσεις ένα ή δύο παραδείγματα.*

2. *Να περιγράψεις τον βαθμό στον οποίο ένα μοντέλο πρέπει να μοιάζει με το πρωτότυπο. Αν σε βοηθάει, να αιτιολογήσεις την άποψή σου χρησιμοποιώντας σχετικά παραδείγματα.*

3. *Γιατί κατά τη γνώμη σου οι επιστήμονες χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερα διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;. Αν σε βοηθάει, να αιτιολογήσεις την άποψή σου χρησιμοποιώντας σχετικά παραδείγματα.*

4. *Πώς νομίζεις ότι κατασκευάζονται τα μοντέλα*;

5. *Ποιος νομίζεις ότι είναι ο σκοπός των μοντέλων;*

6. *Ποιο ή ποια από τα παρακάτω νομίζεις ότι είναι μοντέλα; Να κυκλώσεις αυτά που νομίζεις ότι είναι μοντέλα*

Α. Η αποτύπωση ενός αντικειμένου/φαινομένου πάνω σε χαρτί (σκίτσο).

Β. Ένα πλαστικό αυτί (πρόπλασμα).

Γ. Μία μαθηματική εξίσωση π.χ. F=m·a (δύναμη = μάζα · επιτάχυνση).

Δ. Η πρόταση «Όταν η πυκνότητα ενός αντικειμένου είναι μικρότερη από τη πυκνότητα ενός υγρού τότε το αντικείμενο επιπλέει».

Ε. Η προσομοίωση ενός φαινομένου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, π.χ. η προσομοίωση της κίνησης μίας πέτρας στο νερό.

ΣΤ. Μια υδρόγειος σφαίρα.

7. *Νομίζεις ότι από την στιγμή που ένας επιστήμονας αναπτύξει ένα μοντέλο, είναι δυνατό αυτό να αλλάξει; Γιατί νομίζεις ότι οι επιστήμονες αλλάζουν ή δεν αλλάζουν τα μοντέλα τους;*

Παράρτημα Β

Όψη του περιεχομένου των μοντέλων	Ερευνητική ομάδα	Επίπεδο Αφελών Ιδεών (Επίπεδο 1)	Χαμηλό Επίπεδο ιδεών (Επίπεδο 2)	Μεσαίο Επίπεδο Ιδεών (Επίπεδο 3)	Επίπεδο ιδεών που είναι σύμφωνες με την επιστημονική άποψη (Επίπεδο 4)
Φύση των μοντέλων	*Grosslight et al. (1991)*	*Τα μοντέλα θεωρούνται παιχνίδια ή πιστά αντίγραφα της πραγματικότητας. Το μοντέλο περιλαμβάνει συγκεκριμένες όψεις επειδή έτσι ήθελε ο κατασκευαστής του.*		*Το μοντέλο δεν είναι εξ ολοκλήρου ίδιο με το πραγματικό αντικείμενο. Η έμφαση δίνεται στο μοντέλο αυτό καθ' αυτό και όχι στις ιδέες στις οποίες επικεντρώνεται το μοντέλο. Για παράδειγμα το μοντέλο θεωρείται αναπαράσταση ενός φαινομένου/αντικειμένου και όχι των ιδεών που εμπεριέχει το φαινόμενο/αντικείμενο.*	*Το μοντέλο συσχετίζεται με τις θεωρίες που αναπαριστά και θεωρείται εργαλείο ανάπτυξης και δοκιμασίας ιδεών.*
	Schwartz & White (2005)	*Το μοντέλο είναι το ίδιο το πραγματικό αντικείμενο, ένα μηχάνημα που χειρίζονται οι επιστήμονες για την έρευνά τους. Το μοντέλο αποτελεί αντίγραφο του πρωτότυπου σε μικρές ή μεγάλες διαστάσεις.*		*Το μοντέλο αναπαριστά κάτι (π.χ. ένα αντικείμενο, ή ένα φαινόμενο). Τα μοντέλα μπορεί να είναι δισδιάστατα ή τρισδιάστατα και είναι εργαλεία που δείχνουν κάτι (π.χ. πώς φτιάχνεται ένα αντικείμενο)*	*Το μοντέλο αποτελεί εργαλείο πρόβλεψης και ανάπτυξης εξηγήσεων. Τα μοντέλα δεν είναι μόνο τρισδιάστατα ή οπτικά, αλλά και μπορεί να είναι και λεκτικά.*
	Crawford &	*Τα μοντέλα είναι αντίγραφα της*		*Τα μοντέλα*	*Τα μοντέλα αναπαριστούν ιδέες.*

	Kullin (2005)	*πραγματικότητας.*		*αναπαριστούν αντικείμενα ή διαδικασίες και χρησιμοποιούνται από κάποιον ώστε να επικοινωνήσει την κατανόησή του σε κάποιον άλλο.*	
	Πετρίδου κα 2008; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017	*1. Πιστή αναπαράσταση αντικειμένων.* *2. Τα βήματα ενός ερευνητή (ένα πρότυπο μιας διαδικασίας, πρωτόκολλο – πείραμα).* *3. Μία μέθοδος διδασκαλίας.* *4. Ένα προϊόν, μια κατασκευή ή κάτι που απευθύνεται στην κοινωνία για χρήση στην καθημερινότητα.* *5. Το ίδιο το φαινόμενο..*		*1. Μόνο αναπαράσταση ενός φαινομένου, μιας διαδικασίας, ενός συστήματος.* *2. Ένα εργαλείο μόνο για την κατανόηση φαινομένων*	*1. Αναπαριστά τις ιδέες και θεωρίες που περιέχονται σε ένα αντικείμενο, ένα φαινόμενο, μια διαδικασία, ένα σύστημα.* *2. Δεν αναπαριστά με πιστή ομοιότητα την πραγματικότητα, αλλά μόνο επιλεγμένες λειτουργίες του στόχου.* *3. Μπορεί να αποτελέσει ερευνητικό εργαλείο για τον έλεγχο υποθέσεων και ιδεών.*
Αλλαγή των μοντέλων	*Lazenby_2020*	*Τα μοντέλα δεν αλλάζουν ή δεν πρέπει να αλλάξουν.*	*ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει αν υπάρχει κάτι λανθασμένο σε αυτά. Η ιδέα συγκλίνει στην ύπαρξη ενός και μοναδικού σωστού μοντέλου.*	*ένα μοντέλο μπορεί να αλλάξει εάν ανακαλυφθούν νέα δεδομένα για το φαινόμενο στόχος. Οι ιδέες δεν περιλαμβάνουν ερμηνεία δεδομένων, αλλά τα ίδια δεδομένα θεωρούνται παράγοντας αλλαγής των μοντέλων.*	*η επαναληπτική αλλαγή των μοντέλων αποτελεί τυπικό μέρος μίας ερευνητικής δραστηριότητας·* *Η ερμηνεία των δεδομένων από τον κατασκευαστή των μοντέλων θεωρείται παράγοντας για την αλλαγή των μοντέλων.*
	Grosslight et al. (1991)	Τα μοντέλα δεν μπορεί να	Τα μοντέλα μπορούν να	Τα μοντέλα μπορούν να αλλάξουν επειδή νέα	Η αλλαγή ενός μοντέλου δεν είναι απλά δυνατή, αλλά αναπόφευκτη.

		αλλάξουν.	αλλάξουν αν κάτι είναι λανθασμένο με αυτό ή με τον τρόπο με τον οποίο χτίστηκε.	πληροφορία βρέθηκε.	
	Scwartz & White (2005)	Η αλλαγή ενός μοντέλου δεν γίνεται, ή αν γίνει αυτό συμβαίνει επειδή το μοντέλο είναι λανθασμένο.		Ένα μοντέλο αλλάζει όταν βρεθεί νέα πληροφορία ή νέο τεκμήριο.	Η αλλαγή ενός μοντέλου γίνεται κατόπιν επανεκτίμηση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων τους, όπως και κατόπιν επανεκτίμησης του σκοπού που εξυπηρετούν.
	Grunkorn et al., (2014)	Δεν υπάρχει λόγος να αλλάξουν τα μοντέλα.	Ένα μοντέλο αλλάζει ώστε να διορθωθούν τα λάθη στο αρχικό μοντέλο.	Η αλλαγή του μοντέλου μπορεί να γίνει εξαιτίας νέων ευρημάτων για το πρωτότυπο.	Η αλλαγή ενός μοντέλου συμβαίνει επειδή η αρχική υπόθεση για την λειτουργία του πρωτότυπου με το αρχικό μοντέλο, βγήκε λανθασμένη.
	Crawford & Kullin (2005)	Τα μοντέλα δεν αλλάζουν.	Ένα μοντέλο αλλάξει εξαιτίας νέων ανακαλύψεων.	Ένα μοντέλο αλλάζει επειδή η συμπεριφορά του δεν συνάδει με αυτό που επιδίωκε ο κατασκευαστής του.	Τα μοντέλα από την φύση τους είναι προσωρινά. Ένα μοντέλο αλλάζει επειδή η συμπεριφορά του δεν είναι σύμφωνη με τις παρατηρήσεις της συμπεριφοράς του στόχου.
	Van der Valk et al. (2007)				Σαν μέρος των διαδικασιών έρευνας, ένα μοντέλο μπορεί να εξελιχθεί μέσα από μία επαναληπτική διαδικασία.
	Πετρίδου κα 2008; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017	*Το μοντέλο δεν αλλάζει*	*Ένα μοντέλο αλλάζει όταν δεν συμπεριφέρεται σύμφωνα με τους σκοπούς του κατασκευαστή του ή όταν δεν ικανοποιεί εκπαιδευτικούς σκοπούς λόγω αλλαγής στη διδακτική ή/και στην επιστήμη.*		*Το μοντέλο είναι προσωρινό στη φύση του και αλλάζει, όταν η συμπεριφορά του δεν συμφωνεί με την παρατήρηση του φαινομένου ή του συστήματος του πραγματικού κόσμου.* *Ο επιστήμονας αλλάζει το μοντέλο του*

					προκειμένου να τον βοηθήσει να προχωρήσει την έρευνά του έτσι ώστε τα δεδομένα του μοντέλου να έρθουν σε συμφωνία με τα δεδομένα της πραγματικότητας.
Πολλαπλότητα των μοντέλων	*Lazenby_2020*	*Μπορεί να υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα, αλλά ένα και μόνο σωστό μοντέλο για ένα δεδομένο φαινόμενο.*	*πολλαπλά μοντέλα μπορεί υπάρχουν λόγω διαφορών μεταξύ των κατασκευαστών των μοντέλων. Τα πολλαπλά μοντέλα είναι απόρροια των διαφορών στη μάθηση, στα επιστημονικά πεδία, στην εκπαιδευτική βαθμίδα κτλ.*	*Τα πολλαπλά μοντέλα είναι το αποτέλεσμα της εστίασης σε διαφορετικές πτυχές του στόχου ή αποτέλεσμα των διαφορετικών μεθόδων μελέτης ενός φαινομένου.*	*Τα πολλαπλά μοντέλα είναι αποτέλεσμα διαφορετικών ερμηνειών ή εξηγήσεων για τα ίδια δεδομένα.* *Τα πολλαπλά λειτουργούν συμπληρωματικά το ένα με το άλλο ή τα πολλαπλά μοντέλα εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς.*
	Grosslight et al. (1991)	Η πολλαπλότητα των μοντέλων οφείλεται στο ότι οι επιστήμονες μπορούν να έχουν διαφορετικές απόψεις για την λειτουργία της ίδιας οντότητας.		Η πολλαπλότητα οφείλεται επειδή ο καθένας εστιάζει σε διαφορετικές όψεις του ίδιου στόχου, παραβλέποντας ή τονίζοντας συγκεκριμένες όψεις ώστε να παρέχει μεγαλύτερη	Η πολλαπλότητα οφείλεται στο ότι διαφορετικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να ανταποκριθούν σε διαφορετικά ερευνητικά ενδιαφέροντα ή ερωτήματα για το πρωτότυπο. Μπορούν να υπάρχουν διάφορα ανταγωνιστικά μοντέλα για την ίδια όψη του στόχου.

				σαφήνεια.	
	Scwartz & White (2005)	Δεν μπορούν να υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα για τον ίδιο στόχο.	Διαφορετικά μοντέλα μπορούν να υπάρξουν επειδή διαφορετικές ομάδες διεξήγαν τα πειράματά τους με διαφορετικές μεθόδους ή επειδή διάφορες ομάδες έχουν διαφορετικές απόψεις για τα φαινόμενα.	Αναπτύσσονται διαφορετικά μοντέλα για λόγους που έχουν να κάνουν με τη συνέπεια και το σφάλμα.	Η πολλαπλότητα των μοντέλων απορρέει επειδή διαφορετικοί άνθρωποι μπορεί να έχουν διαφορετικά ερμηνευτικά πλαίσια για τα ίδια δεδομένα.
	Grunkorn et al., (2014)	Υπάρχει ένα τελικό μοντέλο που είναι και το σωστό.	Πολλαπλά μοντέλα υπάρχουν εξαιτίας των διαφορών μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων.	Διαφορετικά μοντέλα υπάρχουν επειδή το πρωτότυπο επιτρέπει την κατασκευή διαφορετικών μοντέλων.	Πολλαπλά μοντέλα υπάρχουν επειδή έχουν εκφραστεί διαφορετικές υποθέσεις για την λειτουργία του πρωτότυπου.
	Crawford & Kullin (2005)	Διαφορετικά μοντέλα υπάρχουν εξαιτίας των διαφορετικών τρόπων με τους οποίους κάποιος μαθαίνει, εκπαιδευτικών βαθμίδων, διαφορετικό	Η πολλαπλότητα των μοντέλων απορρέει από τις διαφορετικές ιδέες του μοντελιστή ή επειδή κάθε μοντέλο επικεντρώνεται σε διαφορετικές πτυχές ενός στόχου.	Οι διαφορετικές ιδέες του κατασκευαστή συνάδουν με τα ανταγωνιστικά μοντέλα ή θεωρίες που εξηγούν τη συμπεριφορά ενός φαινομένου.	Τα διαφορετικά μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο οφείλονται στις διαφορετικές υποθέσεις για τον στόχο ή στο ότι στοχεύουν σε διαφορετικές όψεις του στόχου.

		κοινό.			
	Van der Valk et al. (2007)				Δύο ή περισσότερα διαφορετικά μοντέλα αναπαριστούν τον ίδιο στόχο, αλλά, μπορεί να υπάρχει λόγος για τον οποίο ένα μοντέλο προτιμάται από ένα άλλο.
	Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017	*Μπορεί να υπάρχει μόνο ένα μοντέλο για κάθε αναπαριστώμενη οντότητα.* *Η πολλαπλότητα αφορά στα υλικά κατασκευής του μοντέλου (για παράδειγμα αντί για οδοντο-γλυφίδες να χρησιμοποιούνται καλαμάκια).*		*Υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα επειδή διαμορφώνονται ανάλογα με το κοινό στο οποίο απευθύνονται.*	*Μπορούν να κατασκευαστούν πολλά μοντέλα αναφερόμενα σε διάφορες όψεις/ιδιότητες της αναπαριστώμενης οντότητας.* *Χρειάζονται πολλαπλά μοντέλα για πλήρη αναπαράσταση/εξήγηση ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου.* *Μπορούν να υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα για την ίδια αναπαριστώμενη οντότητα, που την ερμηνεύουν διαφορετικά.* *Τα μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν με πολλές μορφές αναπαράστασης που να εστιάζουν σε διαφορετικά σημεία της θεωρίας.*
Λειτουργία των μοντέλων	Lazenby_2020	Δεν συζητήθηκε			
	Grosslight et al. (1991)	*Το μοντέλο είναι χρήσιμο επειδή αποτελεί αντίγραφο των πραγματικών αντικειμένων.*		*Το μοντέλο είναι χρήσιμο για να φανούν συγκεκριμένες όψεις του πρωτότυπου.*	*Το μοντέλο χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και δοκιμασία ιδεών*
	Scwartz & White (2005)	*Τα μοντέλα δεν έχουν κάποια χρησιμότητα, επειδή για παράδειγμα ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής επεξεργάζεται τις ιδέες τις οποίες ο ίδιος ο επιστήμονας ενσωματώνει*		*Το μοντέλο είναι χρήσιμο για να κατασκευαστεί ένα πραγματικό*	*Το μοντέλο είναι χρήσιμο για την πρόβλεψη, εξήγηση, δοκιμασία και επικοινωνία ιδεών μεταξύ των επιστημόνων.*

		στα λογισμικά.		*αντικείμενο, ή εργαλείο παροχής πληροφοριών.*	
	Grunkorn et al., (2014)	Δεν συζητήθηκε			
	Crawford & Kullin (2005)			*Τα μοντέλα είναι χρήσιμα στην επικοινωνία ιδεών μεταξύ των επιστημόνων*	*Τα μοντέλα είναι χρήσιμα εργαλεία για την ανάπτυξη κατανόησης για το πώς λειτουργεί / συμπεριφέρεται ένα φαινόμενο.*
	Van der Valk et al. (2007)	Δεν συζητήθηκε			
	Πετρίδου κα 2008; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017	*Το μοντέλο χρησιμοποιείται: για να απλουστεύσει, να παρουσιάσει, να διευκρινίσει το θέμα που μελετάται, για να ταξινομηθούν τα φαινόμενα, ως πρότυπο ερευνητικό θέμα, για να διευκολύνει την καθημερινότητα*		*Το μοντέλο χρησιμοποιείται για την εξήγηση ενός φαινομένου, μόνο για διδακτικούς λόγους, προκειμένου ο δάσκαλος να εξηγήσει κάτι στους μαθητές του, για να συνδέσουν το φαινόμενο με την καθημερινότητα ή/και για αναδόμηση-αναθεώρηση*	*Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εξήγηση όσο και για πρόβλεψη, για την απόκτηση πληροφοριών που δεν είναι απευθείας ορατές σε ένα φαινόμενο.* *Το μοντέλο αντιμετωπίζεται ως κίνητρο σκέψης και διατύπωσης υποθέσεων και ως βοήθημα για την οικοδόμηση επιστημονικής γνώσης.*

				πρόδρομων ιδεών.	
Μοντελοποίηση	*Lazenby_2020*	*Τα μοντέλα αναπτύσσονται μέσα από μία μέθοδο δοκιμή-λάθους, μαντεψιάς ή σαν μέρος μίας διαδικασίας, όπως π.χ. η επιστημονική μέθοδος.*	*Τα μοντέλα κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούν αντιγραφές του στόχου για οπτική απεικόνιση.*	*Τα μοντέλα αναπτύσσονται με βάση την έρευνα και τον πειραματισμό αλλά δεν γίνεται αναφορά στην ερμηνεία των δεδομένων.*	*Τα μοντέλα αναπτύσσονται με βάση τις ερμηνείες των επιστημόνων ή τις εξηγήσεις για τα δεδομένα ή τα πειραματικά αποτελέσματα.* *Περιλαμβάνονται ιδέες σχετικές με την ανάλυση και την εμφάνιση μοτίβων ή τάσεων στα δεδομένα.*
	Grosslight et al. (1991)	Η συζήτηση για την μοντελοποίηση επικεντρώνονται στα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την κατασκευή ενός μοντέλου (πχ. κατά πόσο πρέπει να μοιάζει με τον στόχο, κατά πόσο πρέπει να εξυπηρετεί τους σκοπούς του κατασκευαστή)				
	Scwartz & White (2005)	*Κατά την κατασκευή του μοντέλου, ο κατασκευαστής πρέπει να συμπεριλάβει όλες τις πτυχές του αντικειμένου / φαινομένου-στόχου.*		*Ο κατασκευαστής ενός μοντέλου, πρέπει να συμπεριλάβει σε αυτό τα βασικά μέρη του πρωτότυπου.*	*Η μοντελοποίηση αφορά την ενσωμάτωση μίας θεωρίας ή δεδομένων σε ένα μοντέλο, την αξιολόγηση ότι ένα μοντέλο διακρίνεται από συνέπεια και ακρίβεια και την αναθεώρηση του ώστε να συμπεριλάβει νέες θεωρίες ή νέα δεδομένα.*
	Grunkorn et al., (2014)	Δεν προτάθηκαν επίπεδα κατανόησης			
	Crawford & Kullin (2005)	Σύνδεση μεταξύ των ιδεών του μοντελιστή και του μοντέλου για το τι ο ίδιος σκέφεται.		Η κατασκευή γίνεται με οδηγό το μοντέλο να συμπεριφέρεται όπως τον στόχο. Αυτό θα οδηγήσει σε	Ένα μοντέλο αναπτύσσεται μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας, στην οποία εμπειρικά δεδομένα μπορεί να οδηγήσουν σε αναθεώρηση του μοντέλου, καθώς σε επόμενο βήμα, το μοντέλο πρόκειται να

			διαφορετικές σχέσεις που εξωτερικεύονται με το μοντέλο.	δοκιμαστεί καθώς εξελίσσεται η μελέτη του στόχου.
	Van der Valk et al. (2007)	Δεν αναφέρονται		Η κατασκευή ενός μοντέλου απαιτεί δημιουργικότητα για την επίτευξη συμβιβασμού μεταξύ «έχοντας αναλογίες με» και «είναι διαφορετικό από» ο στόχος, έτσι ώστε να είναι βέλτιστα εξυπηρετήσει το σκοπό του.
	Πετρίδου κα 2008; Βραγοτέρης & Ψύλλος, 2017	Δεν εξετάστηκε αυτή η όψη		