



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Σχολή Επιστημών Αγωγής

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Διδακτική και Τεχνολογίες

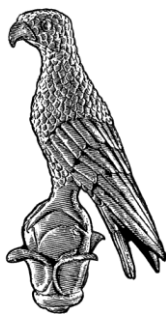
Μάθησης των Φυσικών Επιστημών

Διπλωματική Εργασία

***Η συμβολή της τρισδιάστατης σχεδίασης στην κατανόηση της  
Έννοιας της Πυκνότητας από Μελλοντικούς Εκπαιδευτικούς  
Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης***

**ΣΙΜΟΣ ΘΩΜΑΣ**

**Ιωάννινα 2025**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Σχολή Επιστημών Αγωγής

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών : Διδακτική και Τεχνολογίες

Μάθησης των Φυσικών Επιστημών

***Η συμβολή της τρισδιάστατης σχεδίασης στην κατανόηση της  
Έννοιας της Πυκνότητας από Μελλοντικούς Εκπαιδευτικούς  
Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης***

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Στύλος Γεώργιος**

*(Μέλος ΕΔΙΠ ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων)*

**ΜΕΛΗ: Μικρόπουλος Αναστάσιος**

*(Καθηγητής ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων)*

**Κώτσης Κωνσταντίνος**

*(Καθηγητής ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων)*

**ΣΙΜΟΣ ΘΩΜΑΣ**

**Ιωάννινα 2025**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Πρόγραμμα Σπουδών Διδακτική και Τεχνολογίες Μάθησης των Φυσικών Επιστημών την περίοδο 2023 - 2025. Η επίβλεψή της πραγματοποιήθηκε τον Γεώργιο Στύλο (Μέλος ΕΔΙΠ ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων) τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την επιστημονική υποστήριξη την οποία μου παρείχε και την άριστη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Ευχαριστώ, επίσης, τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ.Κώτση και κ.Μικρόπουλο για την παροχή πολύτιμων υποδείξεων και απαραίτητων για τη διεξαγωγή της έρευνας κατευθύνσεων, όπως, επίσης, και για την εξαιρετική συνεργασία.

Ευχαριστώ, ακόμη, όλους τους φοιτητές του παιδαγωγικού Τμήματος που δέχτηκαν να συμμετέχουν στην έρευνα, συμπληρώνοντας το ερωτηματολόγιο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους αγαπημένους μου ανθρώπους που με στήριξαν ηθικά καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας, και ιδιαίτερως την σύζυγο μου Χούσου Πηνελόπη η οποία βρισκόταν στο πλευρό μου και στήριξε τις επιλογές μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει την αξιοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing) στην εκπαιδευτική διαδικασία, με έμφαση στις Φυσικές Επιστήμες και την επίδραση της στη μαθησιακή εμπειρία. Πραγματοποιήθηκε εκπαιδευτική παρέμβαση στην οποία αξιοποιήθηκε η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Μέσω της παρέμβασης η οποία περιλάμβανε διδασκαλία της έννοιας της πυκνότητας με χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή, διερευνήθηκε ο ρόλος της τεχνολογίας στη μείωση του άγχους των μελλοντικών εκπαιδευτικών και στην ενίσχυση του ενδιαφέροντος των φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την κατανόηση της έννοιας τη πυκνότητας. Το δείγμα αποτέλεσαν 31 φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης. Ως εργαλεία έρευνας αξιοποιήθηκαν το «Ενδιαφέρον των Φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία (STEM)» βασισμένο στο «Student Interest in Science, Technology and Geospatial Technology (STEM-GEO) Survey» (Bodzin και συν., 2020) και το «Άγχος για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών» βασισμένο στο “Academic Anxiety Scale” (Cassady, 2020). Για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας δημιουργήθηκε ερωτηματολόγιο το οποίο αξιολογούσε τις γνώσεις των συμμετεχόντων στην έννοια της πυκνότητας.

Τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν αύξηση στο ενδιαφέρον των φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες μετά την παρέμβαση και μείωση του άγχους. Επιπλέον βρέθηκε ότι η χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας και βελτιώνει τις γνώσεις των φοιτητών.

**Λέξεις - Κλειδιά:** τρισδιάστατη εκτύπωση ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες , άγχος για την διδασκαλία φυσικών επιστημών, πυκνότητα

## ABSTRACT

This study examines the utilization of three-dimensional printing (3D printing) in the educational process, with an emphasis on natural sciences and its impact on the learning experience. The sample consisted of 31 students from the Department of Primary Education. The research tools included the "Students' Interest in Science and Technology (STEM)" questionnaire based on the "Student Interest in Science, Technology, and Geospatial Technology (STEM-GEO) Survey" (Bodzin και συν., 2020) and the "Anxiety about Teaching Science" scale based on the "Academic Anxiety Scale" (Cassady, 2020). Additionally, a questionnaire was developed to assess participants' knowledge of the concept of density.

An educational intervention was conducted, utilizing 3D printing technology. The intervention included teaching the concept of density using a 3D printer and aimed to investigate the role of this technology in reducing the anxiety of future educators and enhancing students' interest in natural sciences as well as their understanding of the concept of density. The findings indicate an increase in students' interest in natural sciences after the intervention and a reduction in their anxiety. Furthermore, it was found that the use of a 3D printer aids in a better understanding of the concept of density and improves students' knowledge

**Keywords:** 3D printing, interest in sciences, anxiety about teaching science, density

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ                                                                 | 3         |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ                                                                    | 4         |
| ABSTRACT                                                                    | 5         |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ                                                        | 6         |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ                                                           | 9         |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ                                                          | 10        |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ                                                           | 11        |
| <br>                                                                        |           |
| <b>ΜΕΡΟΣ Α΄ Θεωρητική Προσέγγιση</b>                                        | <b>12</b> |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>                                                             | <b>13</b> |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ</b>                                  | <b>14</b> |
| 1.1 Ορισμός                                                                 | 14        |
| 1.2 Ιστορικά στοιχεία της εκτύπωσης                                         | 15        |
| 1.3 Βασική λειτουργία εκτύπωσης                                             | 18        |
| 1.4. Οι βασικές αρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης                           | 19        |
| 1.4.1 Στερεολιθογραφία (Stereolithography SL)                               | 19        |
| 1.4.2 Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης (Fused deposition modelling FDM) | 20        |
| 1.4.3 Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (Selective laser sintering SLS)  | 20        |
| 1.5 Οφέλη της τρισδιάστατης εκτύπωσης                                       | 21        |
| 1.6 Tinkercad                                                               | 21        |
| <br>                                                                        |           |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ</b>                  | <b>24</b> |
| 2.1 Εισαγωγή                                                                | 24        |
| 2.2 Περιβάλλοντα χρήσης εκτύπωσης                                           | 25        |
| 2.2.1 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στο δημοτικό                                    | 25        |
| 2.2.2 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση                    | 26        |
| 2.2.3 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στη τριτοβάθμια εκπαίδευση                      | 26        |
| 2.2.4 Τρισδιάστατη Εκτύπωση σε βιβλιοθήκες                                  | 27        |
| 2.2.5 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στην ειδική αγωγή                               | 28        |

|                                                                                                                         |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.3 Τρόποι χρήσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης στο εκπαιδευτικό σύστημα                                                  | 28     |
| 2.3.1 Διδασκαλία μαθητών σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση                                                           | 28     |
| 2.3.2 Διδασκαλία εκπαιδευτικών σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση                                                     | 30     |
| 2.4. Η επίδραση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην εκπαίδευση των μαθητών της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης | 30     |
| 2.4.1 Βελτίωση της παρατήρησης και της συγκέντρωσης                                                                     | 30     |
| 2.4.2 Ενίσχυση της δημιουργικότητας                                                                                     | 31     |
| 2.4.3 Βελτίωση της ανεξαρτησίας στη μάθηση                                                                              | 32     |
| 2.4.4 Ανάπτυξη της χωρικής αντίληψης                                                                                    | 33     |
| 2.4.5 Ανάπτυξη της ικανότητα σκέψης και της επίλυσης προβλημάτων                                                        | 34     |
| 2.4.6 Ανάπτυξη συνεργασίας                                                                                              | 35     |
| <br>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ                                                      | <br>38 |
| 3.1 Εισαγωγή                                                                                                            | 38     |
| 3.2 Έρευνες για την χρήση στην εκπαίδευση                                                                               | 38     |
| <br>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΑΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΟΥΣ                                 | <br>42 |
| 4.1. Ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες                                                                               | 42     |
| 4.2. Άγχος για την διδασκαλία των φυσικών επιστημών                                                                     | 44     |
| <br><b>ΜΕΡΟΣ Β΄</b> Ερευνητική Προσέγγιση                                                                               | <br>47 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ                                                                                        | 48     |
| 5.1. Σκοπός της έρευνας                                                                                                 | 48     |
| 5.2. Επιλογή πυκνότητας ως έννοια της παρέμβασης                                                                        | 48     |
| 5.3. Δείγμα                                                                                                             | 49     |
| 5.4. Ερευνητικά Εργαλεία                                                                                                | 50     |
| 5.4.1. Ενδιαφέρον των Φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία (STEM)                                      | 50     |
| 5.4.2 Άγχος για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών                                                                    | 52     |
| 5.4.3 Ερωματολόγιο γνώσεων στην πυκνότητα                                                                               | 53     |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| 5.5. Έλεγχος αξιοπιστίας εργαλείων        | 53     |
| 5.6. Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων           | 53     |
| 5.7. Διδακτική Παρέμβαση                  | 54     |
| 5.7.1. 1η Συνεδρία                        | 56     |
| 5.7.2. 2η Συνεδρία                        | 59     |
| 5.7.3. 3 <sup>η</sup> Συνεδρία            | 61     |
| 5.8. Στατιστική Επεξεργασία               | 64     |
| <br>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ | <br>65 |
| 6.1 Έλεγχοι κανονικότητας και Cronbach    | 65     |
| 6.2. Ανάλυση Ερευνητικών ερωτημάτων       | 66     |
| <br>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ             | <br>78 |
| ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ                   | 81     |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.                             | 82     |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι                               | 90     |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ                              | 98     |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Πίνακας 1: Περιγραφή δημογραφικών στοιχείων                                                                          | 50  |
| Πίνακας 2: Υποκλίμακες εργαλείου                                                                                     | 51  |
| Πίνακας 3: Φάσεις Διδακτικού Μοντέλου                                                                                | 55  |
| Πίνακας 4: Βασικές Αρχές Τρισδιάστατου Σχεδιασμού με το Tinkercad                                                    | 57  |
| Πίνακας 5: Έλεγχοι Κανονικότητας Sapiro-Wilk                                                                         | 65  |
| Πίνακας 6: Ανάλυση αξιοπιστίας                                                                                       | 66  |
| Πίνακας 7: Ποσοστό(%) Σωστά απαντημένης ερώτησης Πριν και Μετά την Παρέμβαση                                         | 68  |
| Πίνακας 8: Σύγκριση του σκορ γνώσεων πριν και μετά την παρέμβαση. Αποτελέσματα ελέγχου paired t test                 | 69  |
| Πίνακας 9: Περιγραφή Άγχους για τις Φυσικές Επιστήμες (pre-test και post-test)                                       | 70  |
| Πίνακας 10: Σύγκριση των βαθμολογιών άγχους πριν και μετά την παρέμβαση. Αποτελέσματα ελέγχου Wilcoxon               | 70  |
| Πίνακας 11: Περιγραφή Ενδιαφέροντος για τις Φυσικές Επιστήμες (pre-test και post-test)                               | 71  |
| Πίνακας 12: Σύγκριση των βαθμολογιών ενδιαφέροντος πριν και μετά την παρέμβαση                                       | 72  |
| Πίνακας 13: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση. Αποτελέσματα ελέγχου Spearman (pre-test)  | 75  |
| Πίνακας 14: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση. Αποτελέσματα ελέγχου Spearman (post-test) | 75  |
| Πίνακας 15: Συντελεστής προσδιορισμού γραμμικής παλινδρόμησης                                                        | 77  |
| Πίνακας 16: Γραμμική Παλινδρόμηση                                                                                    | 77  |
| Πίνακας 17: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση. Αποτελέσματα ελέγχου Spearman (pre-test)  | 98  |
| Πίνακας 18: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση. Αποτελέσματα ελέγχου Spearman (post-test) | 99  |
| Πίνακας 19: Σύγκριση μεταξύ του ενδιαφέροντος και του φύλου. Αποτελέσματα ελέγχου Anova                              | 100 |
| Πίνακας 20: Σύγκριση μεταξύ του ενδιαφέροντος και της κατεύθυνσης. Αποτελέσματα ελέγχου Anova                        | 101 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα 1: Κατανομή δείγματος με βάση το φύλο                                                                                                        | 90 |
| Σχήμα 2: Κατανομή δείγματος με βάση το Ακαδημαϊκό έτος                                                                                             | 90 |
| Σχήμα 3: Κατανομή δείγματος με βάση την Κατεύθυνση                                                                                                 | 91 |
| Σχήμα 4: Κατανομή δείγματος με βάση το Πρώτο Πτυχίο                                                                                                | 91 |
| Σχήμα 5: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες»  | 92 |
| Σχήμα 6: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες» | 92 |
| Σχήμα 7: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης»                        | 93 |
| Σχήμα 8: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης»                       | 93 |
| Σχήμα 9: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία »                                                  | 94 |
| Σχήμα 10: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία »                                                | 94 |
| Σχήμα 11: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Γενικό Ενδιαφέρον»                                                                            | 95 |
| Σχήμα 12: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Γενικό Ενδιαφέρον»                                                                           | 95 |
| Σχήμα 13: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Γενικό Άγχος»                                                                                 | 96 |
| Σχήμα 14: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Γενικό Άγχος»                                                                                | 96 |
| Σχήμα 15: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Κατανόηση»                                                                                    | 97 |
| Σχήμα 16: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Κατανόηση»                                                                                   | 97 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Εικόνα 1: Πρώτος 3D εκτυπωτής , SLA-1                                                         | 16 |
| Εικόνα 2: Το μεγαλύτερο 3D εκτυπωμένο κτίριο                                                  | 18 |
| Εικόνα 3: Βασική διαδικασία 3D εκτυπωτών για την δημιουργία 3D αντικειμένων                   | 19 |
| Εικόνα 4: Το περιβάλλον του Tinkercad                                                         | 22 |
| Εικόνα 5: Σχεδιασμός αντικειμένων                                                             | 58 |
| Εικόνα 6: . Παρουσίαση Εικόνων σχετικά με τις έννοιες της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας | 59 |
| Εικόνα 7: Σχεδιασμός αντικειμένων με βάση τις υποθέσεις                                       | 60 |
| Εικόνα 8: Εκτυπωμένα αντικείμενα με χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή                              | 61 |
| Εικόνα 9: Πειραματική μέτρηση όγκου                                                           | 63 |
| Εικόνα 10: Πειραματική μέτρηση μάζας                                                          | 63 |

**ΜΕΡΟΣ Α΄**  
**Θεωρητική Προσέγγιση**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης. Οι σύγχρονες παιδαγωγικές μέθοδοι δίνουν έμφαση στην ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, με στόχο τη δημιουργία πιο διαδραστικών και εξατομικευμένων μαθησιακών εμπειριών. Μία από τις πλέον καινοτόμες τεχνολογίες που έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της εκπαιδευτικής κοινότητας είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), η οποία αποτελεί εφαρμογή της πρόσθετης κατασκευής (Additive Manufacturing) (Bell και συν., 2017)..

Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει τη δημιουργία φυσικών αντικειμένων από ψηφιακά σχέδια, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων στους τομείς της εκπαίδευσης, της βιομηχανίας, της υγειονομικής περίθαλψης και άλλων. Στο εκπαιδευτικό πλαίσιο, η τεχνολογία αυτή μπορεί να ενισχύσει τη διδασκαλία μαθημάτων STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), υποστηρίζοντας την καλλιέργεια δεξιοτήτων όπως η δημιουργικότητα, η επίλυση προβλημάτων και η χωρική αντίληψη. Ταυτόχρονα, η τρισδιάστατη εκτύπωση διευκολύνει την πρακτική διδασκαλία αφηρημένων εννοιών, καθιστώντας τις πιο κατανοητές μέσω της δημιουργίας φυσικών μοντέλων (Shahrubudina, και συν., 2019).

Η εκπαιδευτική αξία της 3D εκτύπωσης έχει επιβεβαιωθεί από πολυάριθμες μελέτες, οι οποίες καταδεικνύουν ότι μπορεί να αυξήσει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες και να μειώσει το άγχος των εκπαιδευτικών για τη διδασκαλία τους (Berry και συν., 2010). Ειδικότερα, η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμογές σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης, από την πρωτοβάθμια μέχρι την τριτοβάθμια, ενώ βρίσκει χρήσεις και σε εξειδικευμένα περιβάλλοντα, όπως η ειδική αγωγή.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση της επίδρασης της τρισδιάστατης εκτύπωσης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, στο ενδιαφέρον των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες και στο άγχος των φοιτητών να διδάξουν αυτές και στην κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας. Η ερευνητική αυτή προσέγγιση αποσκοπεί στη σύνδεση θεωρητικών εννοιών και πρακτικών εφαρμογών, αναδεικνύοντας τη σημασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης ως εργαλείου ενίσχυσης της μαθησιακής διαδικασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

### 1.1 Ορισμός

Η μετατροπή υλικών σε κάτι που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, να αγοράσουμε ή να καταναλώσουμε όπως εξαρτήματα ή προϊόντα μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Ένας πρώτος τρόπος για να κατασκευαστεί ένα αντικείμενο είναι η αφαιρετική κατασκευή, όπου ξεκινάμε από την πρώτη ύλη και προχωράμε προς το επιθυμητό προϊόν. Ένας άλλος τύπος κατασκευής ονομάζεται μορφοποίηση, κατά τον οποίο ένα μπλοκ υλικού υφίσταται αλλαγές στις διαστάσεις του όταν εφαρμόζεται δύναμη. Ο τρίτος τύπος τεχνολογίας κατασκευής προϊόντων είναι η χύτευση, όπου ένα υλικό σε στερεή μορφή τήκεται σε υγρή μορφή, και το υγρό υλικό στη συνέχεια χύνεται σε ένα συγκεκριμένο καλούπι για να ληφθεί το αντικείμενο. Ο τέταρτος τρόπος κατασκευής είναι η Πρόσθετη Κατασκευή (Additive manufacturing AM) όπου τα εξαρτήματα αναπτύσσονται προσθετικά στρώμα προς στρώμα (layer by layer). Η Πρόσθετη Κατασκευή και Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D printing), είναι λέξεις-ομπρέλα που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα διαδικασιών για τη δημιουργία τρισδιάστατων πρωτοτύπων και δομών από ψηφιακά αρχεία. Η Προσθετική Κατασκευή (AM) και η 3D Εκτύπωση αποτελούν σύγχρονες τεχνολογίες οι οποίες έχουν φέρει επανάσταση στον τρόπο παραγωγής σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας σε παγκόσμιο επίπεδο, αντικαθιστώντας τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής και προσφέροντας οφέλη τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για την κοινωνία (Avanitidi και συν., 2019).αναφορές

Μία από τις τεχνολογίες που κερδίζει συνεχώς έδαφος τα τελευταία χρόνια, όπως προαναφέρθηκε, είναι η Τρισδιάστατη Εκτύπωση, η οποία επιτρέπει την άμεση δημιουργία ενός φυσικού τρισδιάστατου αντικειμένου από ένα ψηφιακό αρχείο (Novak & Wisdom, 2019). Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να δημιουργήσει φυσικά αντικείμενα από μια γεωμετρική αναπαράσταση με διαδοχική προσθήκη υλικού μια διαδικασία η οποία έχει γνωρίσει πολλές εφαρμογές τα τελευταία χρόνια, ενώ η πρώτη εμπορευματοποίηση της 3D εκτύπωσης πραγματοποιήθηκε το έτος 1980 από τον Charles Hull. Επί του παρόντος, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή τεχνητών αντλιών καρδιάς, για δημιουργία συλλογών κοσμημάτων, για

τρισδιάστατους εκτυπωμένους κερατοειδείς και για την κατασκευή κινητήρων πυραύλων PGA (Shahrubudina, και συν., 2019).

Η τρισδιάστατη εκτύπωση στην πράξη επιτρέπει τόσο την κατασκευή όσο και την αναπαραγωγή ενός αντικειμένου από την αρχή, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την πολυπλοκότητά του. Επιπλέον το χαμηλό κόστος, επιτρέπει στην τεχνολογία των 3D εκτυπωτών να γίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη για τον τομέα της παραγωγής, αλλά και σε άλλους εξειδικευμένους τομείς όπως η εκπαίδευση.

## 1.2 Ιστορικά στοιχεία της εκτύπωσης

Η πρώτη αναφορά στην τρισδιάστατη εκτύπωση έγινε τον Μάιο του 1981 από τον Δρ. Hideo Kodama, ο οποίος δημοσίευσε λεπτομέρειες για μια πρωτοποριακή τεχνική «ταχείας δημιουργίας πρωτοτύπων». Η έρευνά του ήταν η πρώτη που περιέγραψε την προσέγγιση «στρώμα προς στρώμα», βασισμένη στη μέθοδο της στερεολιθογραφίας. Την ίδια περίοδο, ο Charles 'Chuck' Hull κατέθεσε τη δική του πατέντα για τη στερεολιθογραφία, προσθέτοντας νέα χαρακτηριστικά. Αυτές οι καινοτομίες περιλάμβαναν τη χρήση αρχείου μορφής STL, και το 1986 ίδρυσε την εταιρεία 3D Systems, κυκλοφορώντας τον πρώτο 3D εκτυπωτή, τον SLA-1 (εικόνα 1) . Το 1988, ο Carl Deckard από το Πανεπιστήμιο του Τέξας υπέβαλε πατέντα για μια νέα τεχνολογία, την επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (Selective Laser Sintering - SLS), όπου ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί δέσμη λέιζερ για τη σύντηξη κονιοποιημένων υλικών σε στερεές δομές. Το 1989, η Stratasys, με συνιδρυτή τον Scott Crump, κατέθεσε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την τεχνική Fused Deposition Modeling, που είναι ίσως η πιο διαδεδομένη μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης σήμερα.



Εικόνα 1. Πρώτος 3D εκτυπωτής, SLA-1 (Πηγή:3dprint.com)

Την δεκαετία του '90, αναδύονται οι βασικοί κατασκευαστές εκτυπωτών, οι υφιστάμενες τεχνολογίες βελτιώνονται σημαντικά, ενώ νέες τεχνολογίες κάνουν την εμφάνισή τους. Στην Ευρώπη, ιδρύεται η EOS GmbH, η οποία το 1990 κατασκευάζει το πρώτο της σύστημα, το EOS "Stereos", για βιομηχανικές εφαρμογές πρωτοτύπων και παραγωγής μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης, με την τεχνολογία SLS (Selective Laser Sintering) να χρησιμοποιείται τόσο για πλαστικά όσο και για μεταλλικά υλικά. Η Stratasys κυκλοφορεί το 1991 τον πρώτο της εκτυπωτή που βασίζεται στην τεχνολογία FDM, ενώ η DTM Inc παρουσιάζει το 1992 τον πρώτο της εκτυπωτή με τεχνολογία SLS. Στο MIT αναπτύσσεται μια νέα τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης που βασίζεται σε εκτυπωτές inkjet. Η ZCorp, αξιοποιώντας αυτή την τεχνολογία, λανσάρει το 1995 τον πρώτο της εκτυπωτή, τον Z Corp Z402. Το 1994 ιδρύεται η Solidscape, η οποία κατασκευάζει τρισδιάστατους εκτυπωτές που χρησιμοποιούν κερί ως πρώτη ύλη, με το Model Maker να καθιερώνει την εταιρεία ως κορυφαία επιλογή για κοσμηματοπώλες που πλέον μπορούσαν να παράγουν τρισδιάστατα εκτυπωμένα κοσμήματα. Το 1997, η Arcam αναπτύσσει εκτυπωτές μετάλλου που χρησιμοποιούν δέσμη ηλεκτρονίων αντί για laser (Electron Beam Melting). Το 1998, στο Ισραήλ, ιδρύεται η Objet Geometries, η οποία εισάγει την τεχνολογία 3D εκτύπωσης PolyJet

στην αγορά. Το 1999, στο Ινστιτούτο Αναγεννητικής Ιατρικής του Wake Forest, καταφέρνουν να τυπώσουν τρισδιάστατα συνθετικά ικρίώματα για ανθρώπινη κύστη. Παράλληλα, αναπτύσσονται νέα εργαλεία παραμετρικής σχεδίασης (CAD), διευκολύνοντας τη δημιουργία 3D μοντέλων.

Στην επόμενη δεκαετία δημιουργήθηκαν εκτυπωτές ανοιχτού κώδικα, συμβάλλοντας στην κατασκευή φθηνών εκτυπωτών και τη διάδοσή τους. Ο λέκτορας Adrian Bowyer από το Πανεπιστήμιο του Bath πρότεινε την ιδέα για αυτό-αναπαραγόμενους εκτυπωτές, δημιουργώντας το κίνημα RepRap Project. Το αποτέλεσμα ήταν ο εκτυπωτής RepRap, που ενέπνευσε τη δημιουργία φθηνών 3D εκτυπωτών. Ο RepRap μπορούσε να εκτυπώσει τα δικά του πλαστικά μέρη, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες του να κατασκευάσουν άλλους εκτυπωτές. Το 2008 κυκλοφόρησε ο 3D εκτυπωτής "Darwin" RepRap.

Το 2010 εμφανίζονται εταιρείες παροχής υπηρεσιών τρισδιάστατης εκτύπωσης, όπως οι Shapeways και i.materialise, λόγω αυξημένης ζήτησης. Το 2011 δημιουργείται το πρώτο 3D εκτυπωμένο αυτοκίνητο (Urbee), ενώ το 2012-2013 συγχωνεύονται οι Stratasys και Objet, και η Stratasys εξαγοράζει τη MakerBot. Το 2014, με τη λήξη των πατεντών για τις τεχνολογίες SLA και SLS, μειώνονται τα κόστη των 3D εκτυπωτών, ενώ η NASA χρησιμοποιεί 3D εκτυπωτή στο διάστημα. Το 2015 αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες, όπως το CLIP της Carbon3D και το βιο-μελάνι της Cellink. Το 2016 η Ultimaker κυκλοφορεί τον επιτυχημένο Ultimaker 3, ενώ το 2018 δημιουργούνται φθηνοί εκτυπωτές ρητίνης. Το 2019 κατασκευάζεται στο Ντουμπάι το μεγαλύτερο 3D εκτυπωμένο κτίριο στον κόσμο (εικόνα2) (Hellenic Center for Additive manufacturing).



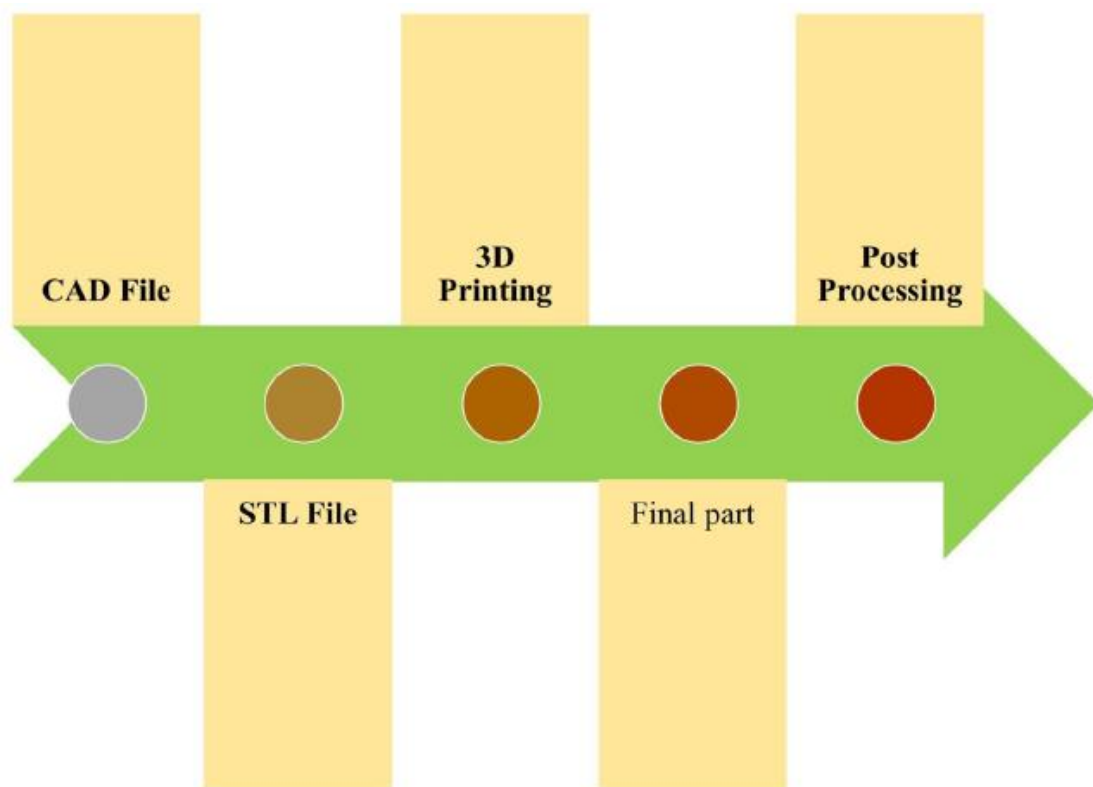
Εικόνα 2. Το μεγαλύτερο 3D εκτυπωμένο κτίριο (Πηγή:archdaily.com)

### 1.3 Βασική λειτουργία εκτύπωσης

Το συμπαγές στοιχείο μοντελοποίησης του Computer-Aided Design είναι η βάση για τις πρόσθετες τεχνολογίες. Αυτά τα συμπαγή δεδομένα μοντελοποίησης χρησιμοποιούνται από προσθετικά μοντέλα για τη δημιουργία στρωμάτων εξαιρετικής λεπτής διατομής, που επιτρέπουν την κατασκευή περίπλοκων και πολύπλοκων σχημάτων και επιφανειών που είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν με τη χρήση συμβατικών μεθόδων. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης προέρχεται από την τεχνολογία κατασκευής στρώμα προς στρώμα τρισδιάστατων (3D) δομών απευθείας από ένα δυσδιάστατο σχέδιο το οποίο έχει δημιουργηθεί με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer-aided design CAD). Τα τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία παρήχθησαν μέσω της τεχνολογίας CAD παράγουν λιγότερα σφάλματα συγκριτικά με τα μοντέλα άλλων μεθόδων, καθώς μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν πριν την εκτύπωση (Nyman & Sarlin, 2014).

Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι πραγματικά καινοτόμος και έχει αναδειχθεί ως ένα ευέλικτο τεχνολογικό στάδιο (Shahrubudina, και συν., 2019). Στην τρισδιάστατη εκτύπωση, η οποία είναι βασικά μια διαδικασία κατασκευής πρόσθετων,

ξεκινάμε με τον θεμελιώδη σχεδιασμό του εξαρτήματος που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε. Το εν λόγω σχέδιο δημιουργείται σε λογισμικό υπολογιστή που μπορεί να προσαρτηθεί σε τρισδιάστατους εκτυπωτές. Αυτό το λογισμικό δημιουργεί στη συνέχεια έναν ειδικό τύπο αρχείου που θα σταλεί στον εκτυπωτή. Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής διαβάζει αυτό το αρχείο και δημιουργεί το προϊόν συνδέοντας το ένα στρώμα πάνω στο άλλο. Σχεδόν κάθε διαδικασία στην τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιεί στρώματα για να σχηματίσει ένα μέρος. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές διαβάζουν τα μέρη ως ένα μόνο δισδιάστατο στρώμα κάθε φορά και όχι ως ένα ολόκληρο μεμονωμένο μέρος. Η λειτουργία των τρισδιάστατων εκτυπωτών όπως φαίνεται στην Εικόνα 3 βασίζεται στο γεγονός ότι έχουν σχεδιαστεί για να διαβάζουν τον τύπο αρχείου Standard Tessellation Language (STL) (Jandyal, και συν., 2022).



Εικόνα 3. Βασική διαδικασία 3D εκτυπωτών για την δημιουργία 3D αντικειμένων (Πηγή: Jandyal, και συν., 2022)

#### 1.4. Οι βασικές αρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης

##### 1.4.1 Στερεολιθογραφία (Stereolithography SL)

Η τεχνική της στερεολιθογραφίας περιλαμβάνει υπεριώδες φως (UV) και ένα φωτοπολυμερές υγρό, το οποίο στη συνέχεια στερεοποιείται. Το υπεριώδες φως από

μια ακτίνα λέιζερ η οποία ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή χτυπά φωτοπολυμερείς ρητίνες σε μια δεξαμενή. Το πολυμερές υλικό σε υγρή μορφή στερεοποιείται επιλεκτικά από την έκθεση του στην ακτίνα λέιζερ και δημιουργεί το τρισδιάστατο αντικείμενο με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Αν και η στερεολιθογραφία είναι μία από τις πιο ακριβείς διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης με εξαιρετικό φινίρισμα επιφάνειας, ωστόσο, η σταθερότητα των υλικών με την πάροδο του χρόνου μεταβάλλεται, και τα εκτυπωμένα αντικείμενα ενδέχεται να γίνουν πιο εύθραυστα (Manapat και συν., 2017).

#### *1.4.2 Μοντελοποίηση Συντηγμένης Εναπόθεσης (Fused deposition modelling FDM)*

Η FDM είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί θερμοπλαστικό νήμα που έχει στεγνώσει μέχρι το σημείο τήξεώς του και στη συνέχεια «εκτινάσσεται» στρώμα επί στρώματος για να σχηματίσει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές που χρησιμοποιούν αυτή τη διαδικασία περιέχουν μια βάση στήριξης με κάποιο βαθμό ελευθερίας και μια διάταξη τέτοια ώστε να κινείται σε κάθετη κατεύθυνση. Πάνω στην κάτω πλάκα, υπάρχει ένας συνδεδεμένος εξωθητής που συνδέει το νήμα και είναι υπεύθυνος για τη θέρμανση του νήματος μέχρι το σημείο πήξης του και έτσι το εξωθεί στρώμα προς στρώμα με τη βοήθεια ενός ακροφυσίου για να σχηματίσει το απαιτούμενο αντικείμενο.

#### *1.4.3 Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (Selective laser sintering SLS)*

Η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (SLS) είναι μια ταχεία μέθοδος δημιουργίας πρωτοτύπων που επιτρέπει τη δημιουργία λεπτομερούς γεωμετρίας ενοποιώντας διαδοχικά στρώματα κονιοποιημένου υλικού το ένα πάνω στο άλλο. Η στερεοποίηση των στρωμάτων πραγματοποιείται με τη βοήθεια λέιζερ CO<sub>2</sub> / αζώτου λαμβάνοντας υπόψη το είδος του άκρου της επιφάνειας και τη σύντηξη που απαιτείται. Κατά τη διάρκεια αυτής της μεθόδου, η σκόνη χημικής ένωσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή του αντικειμένου. Η σκόνη μπορεί να είναι από θερμοπλαστικό, κεραμικά, γυαλιά, μέταλλα κ.λπ. (Kruth, και συν., 2003).

### 1.5 Οφέλη της τρισδιάστατης εκτύπωσης

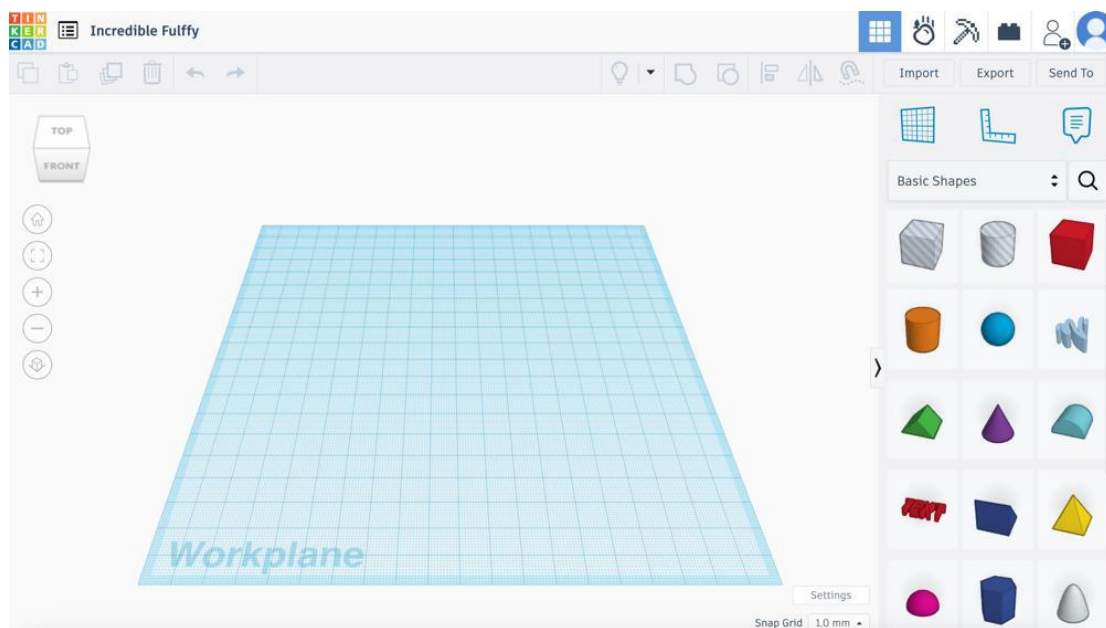
Η τρισδιάστατη εκτύπωση ανοίγει νέες ευκαιρίες και δίνει πολλές δυνατότητες σε εταιρείες που θέλουν να βελτιώσουν την παραγωγική απόδοση. Η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στις βιομηχανίες και να αλλάξει τη γραμμή παραγωγής. Η υιοθέτηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης δίνει τη δυνατότητα να αυξηθεί η ταχύτητα παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του κόστους. Ταυτόχρονα, η ζήτηση του καταναλωτή θα έχει μεγαλύτερη επιρροή στην παραγωγή. Οι καταναλωτές μπορούν να έχουν μεγαλύτερη συμβολή στο τελικό προϊόν και μπορούν να ζητήσουν η παραγωγή του να γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους. Στο μεταξύ, οι εγκαταστάσεις της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης θα βρίσκονται πιο κοντά στον καταναλωτή, επιτρέποντας μια πιο ευέλικτη και ανταποκρινόμενη διαδικασία παραγωγής, καθώς και μεγαλύτερο ποιοτικό έλεγχο. Επιπλέον, με τη χρήση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, η ανάγκη για παγκόσμια μεταφορά μπορεί να έχει σημαντική μείωση. Αυτό συμβαίνει επειδή, όταν οι εγκαταστάσεις παραγωγής βρίσκονται πιο κοντά στον τελικό προορισμό, όλη η διανομή θα μπορούσε να γίνεται με τεχνολογία παρακολούθησης στόλου που εξοικονομεί ενέργεια και χρόνο.

Τέλος, η υιοθέτηση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να επιφέρει αλλαγή των logistics μιας εταιρείας. Τα logistics των εταιρειών μπορούν να διαχειριστούν την όλη διαδικασία, να προσφέρουν περισσότερο ολοκληρωμένες υπηρεσίες από την αρχή έως το τέλος (Shahrubudina, και συν., 2019). Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ότι αρκετά πανεπιστήμια έχουν γίνει σημαντικοί αγοραστές τρισδιάστατων εκτυπωτών κάτι το οποίο οι ειδικοί του κλάδου θεωρούν ως θετικό δείκτη για την ανάπτυξη του προϊόντος. Επιπλέον βιβλιοθήκες σε όλο τον κόσμο έχουν τοποθετήσει τρισδιάστατους εκτυπωτές κάνοντας τους προσβάσιμους στο ευρύ κοινό, ενώ οι εταιρίες προσπαθούν να προσαρμόσουν το προϊόν και το κόστος του για οικιακή χρήση (Degnan, 2018).

### 1.6 Tinkercad

Το Tinkercad είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή (computer-aided design, CAD) που βοηθά άτομα και οργανισμούς στον κλάδο παραγωγής και προώθησης. Απευθύνεται σε διάφορους τομείς όπως, στην υγειονομική περίθαλψη και την αρχιτεκτονική. Το Tinkercad είναι ένα δωρεάν λογισμικό το οποίο

κάνει την επεξεργασία αρχείων εύκολη, επιτρέποντάς την αναδημιουργία υπάρχοντων σχεδίων (Abburiet και συν., 2021). Εκτός από δημοφιλές, είναι και ένα εύχρηστο εργαλείο σχεδίασης 3D CAD από την Autodesk. Ο πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού στο Tinkercad είναι η προετοιμασία ενός τρισδιάστατου μοντέλου για τρισδιάστατη εκτύπωση και καθώς η διαθεσιμότητα των απλούστερων, φθηνών επιτραπέζιων εκτυπωτών 3D FDM (Fused Deposition Modeling) έχει αυξηθεί σημαντικά, η διαδικασία της δημιουργίας ενός σχεδίου έχει γίνει πιο ελκυστική για πολλούς ανθρώπους (Alhamad και συν.,2020).



Εικόνα 4 Το περιβάλλον του Tinkercad

Οι χρήστες μπορούν να προσθέσουν και να τροποποιούν παλιά σχέδια 2D και 3D. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν νέα σχέδια χρησιμοποιώντας τα τροποποιήσιμα σχήματα και αντικείμενα του προγράμματος. Το Tinkercad δίνει επίσης τη δυνατότητα να συνδυαστούν σχήματα, και να στοιβαχθούν μπλοκ. Με αυτές τις ενέργειες, μπορεί να παραχθεί ένα τρισδιάστατο πρωτότυπο σχέδιο. Μέσω του λογισμικού μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει και κυκλώματα χρησιμοποιώντας τα ίχνη του Tinkercad και τα ρυθμιζόμενα σχήματα. Η πλατφόρμα Tinkercad προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με διάφορα προγράμματα προσομοίωσης

κυκλωμάτων, γιατί δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί κάτι επιπλέον στον υπολογιστή, και μιας και είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, δεν χρειάζεται άδεια χρήσης.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα του Tinkercad είναι:

- Πλατφόρμα: Είναι ένα από τα πιο προσιτά λογισμικά τρισδιάστατης μοντελοποίησης, το οποίο μπορεί να προσπελαστεί μέσω του προγράμματος περιήγησής παρέχοντας μέγιστη ευελιξία στον τομέα των πλατφορμών. Το ιδιωτικό cloud αποθηκεύει τα μοντέλα που δημιουργεί ο χρήστης τα οποία μπορούν επίσης να κοινοποιηθούν εύκολα.
- Δωρεάν: Το Tinkercad σχεδιάστηκε για κυρίως εκπαιδευτικούς σκοπούς, επομένως ήταν απαραίτητο να είναι διαθέσιμο δωρεάν.
- Επεκτασιμότητα: Αν και η πρώτη εντύπωση μετά την είσοδο στον λογαριασμό Tinkercad είναι ότι κυρίως η νέα γενιά θα το απολαύσει, αυτό δεν είναι αλήθεια. Η εφαρμογή της αρχής του CSM (Constructive Solid Modeling) είναι μόνο μία προσέγγιση στην οποία βασίζεται ο σχεδιασμός. Η δυνατότητα κωδικοποίησης σε διαφορετικά επίπεδα είναι επίσης διαθέσιμη παρέχοντας τη δυνατότητα αντιστοίχισης του εργαλείου με την ικανότητα του χρήστη.
- Επεκτασιμότητα χρηστών: σημαίνει ότι ένα ευρύ φάσμα ατόμων μπορεί να χρησιμοποιήσει το Tinkercad. Ενώ τα παιδιά θα εργαστούν κυρίως με μεταφορά και απόθεση έτοιμων σχεδίων στο περιβάλλον εργασίας, οι γεννήτριες σχημάτων προσφέρουν ήδη την επιλογή εξελιγμένης παραμετροποίησης και η κωδικοποίηση παρέχει απεριόριστες δυνατότητες σε χρήστες με αρκετές μαθηματικές γνώσεις.
- Κοινότητα: Μια μεγάλη, ζωντανή και υποστηρικτική διαδικτυακή κοινότητα παρέχει βοήθεια, συμβουλές και πολλούς εκπαιδευτικούς πόρους στους χρήστες. Ένα σχέδιο μπορεί να κοινοποιηθεί εύκολα σε άλλους χρήστες χωρίς να απαιτείται λήψη του μοντέλου, καθώς τα μοντέλα αποθηκεύονται στο cloud (Zichar, 2022).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3D ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον εκσυγχρονισμό και τη βελτίωση της εκπαίδευσης. Οι καινοτομίες στον τομέα των ψηφιακών τεχνολογιών και η εφαρμογή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία έχουν επιτρέψει την ανάπτυξη νέων μεθόδων διδασκαλίας και μάθησης. Μία από αυτές τις τεχνολογίες είναι η τρισδιάστατη μοντελοποίηση και εκτύπωση (3DMP). Μέσω της 3DMP, σχέδια που δημιουργούνται με τη βοήθεια υπολογιστών (λογισμικό) μετατρέπονται σε τρισδιάστατα αντικείμενα, προσθέτοντας υλικά σε διαδοχικά στρώματα, όπως αναλύθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η εισαγωγή των τρισδιάστατων εκτυπωτών στα σχολεία κατέστη δυνατή με την πάροδο του χρόνου γεγονός που οφείλεται στο προσιτό κόστος των τρισδιάστατων εκτυπωτών σε συνδυασμό με την ευκολότερη χρήση τους. Ταυτόχρονα, όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια έχουν αναγνωριστεί από την εκπαιδευτική κοινότητα τα οφέλη της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Επιπροσθέτως, αυτής της αναγνώρισης προκύπτει και μια πρόσκληση όσο αφορά την ενσωμάτωση στις Φυσικές Επιστήμες, την τεχνολογία, τη μηχανική και τα μαθηματικά (Bell και συν., 2017).

Πληθώρα ερευνών έχει καταδείξει ότι η χρήση της 3DMP στην εκπαίδευση παρέχει σημαντικά οφέλη, ιδιαίτερα στους τομείς STEM. Ενδεικτικά, η 3DMP μπορεί να ενισχύσει την εμπλοκή των μαθητών, να καλλιεργήσει τη δημιουργικότητά τους και να βελτιώσει τη στάση τους απέναντι στα αντικείμενα STEM (Berry και συν., 2010). Επιπλέον, πολλές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η 3DMP συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων στον τεχνικό σχεδιασμό, τη δημιουργία προϊόντων και την καινοτομία (Steed & Weevers, 2016).

## 2.2 Περιβάλλοντα χρήσης εκτύπωσης

Σύμφωνα με τους Arvanitidi και συν. (2019), η τρισδιάστατη εκτύπωση εφαρμόζεται στην διδασκαλία μαθημάτων σε διάφορα εκπαιδευτικά πλαίσια, και σε διαφορετικά μαθησιακά αντικείμενα με σκοπό την ανάπτυξη της γνώσης των μαθητών.

### 2.2.1 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στο δημοτικό

Ένα κομβικό στάδιο στο εκπαιδευτικό φάσμα είναι η πρωτοβάθμια εκπαίδευση, η οποία απευθύνεται σε παιδιά ηλικίας μεταξύ έξι και δώδεκα ετών. Η κρίσιμη αυτή περίοδος χαρακτηρίζεται από την εφαρμογή παιδαγωγικών μεθοδολογιών ειδικά σχεδιασμένων για μαθητές αυτής της ηλικίας, οι οποίες είναι θεμελιωδώς διαφορετικές σε σχέση με τη δευτεροβάθμια και την τριτοβάθμια εκπαίδευση (Arvanitidi και συν., 2019). Για παράδειγμα στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση τα αναλυτικά προγράμματα εστιάζουν κυρίως στην απόκτηση βασικών δεξιοτήτων γραμματισμού και αριθμητικής κάτι το οποίο αποτυπώνεται και στην διδακτέα ύλη. Αναπτυξιακά, η πρωτοβάθμια εκπαίδευση συμπίπτει με μια κρίσιμη φάση ανάπτυξης στη ζωή του παιδιού, ως εκ τούτου, χρειάζεται προσοχή στις παιδαγωγικές προσεγγίσεις, στο σχεδιασμό προγραμμάτων σπουδών ώστε να καλλιεργούν τις δυνατότητες που είναι εγγενείς σε κάθε παιδί (Fokides & Lagopati, 2024).

Σύμφωνα με τους Fokides & Lagopati, (2024) αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, δικαιολογούν την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών, καθώς αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε ενδεχομένως να ευθυγραμμιστεί με και να ενισχύσει τους διακριτούς παιδαγωγικούς και αναπτυξιακούς στόχους σε αυτό το κρίσιμο στάδιο. Η Τρισδιάστατη εκτύπωση στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, με πρωτότυπο σχεδιασμό μπορεί να προσφέρει τη βάση για τη βελτίωση σε συγκεκριμένους τομείς όπως στην κατανόηση των φυσικών επιστήμων και των μαθηματικών και να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της εκπαίδευσης STEM όπως αναφέρουν οι Arvanitidi και συν. (2019).

### *2.2.2 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση*

Οι μαθητές του Γυμνασίου και του Λυκείου βρίσκονται σε μια ηλικία που θεωρείται ιδανική για να ασχοληθούν με την αναδυόμενη τεχνολογία των τρισδιάστατων εκτυπωτών, κατανοώντας τόσο τη λειτουργία όσο και τη χρήση τους. Αντίθετα, οι μαθητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης συχνά δυσκολεύονται να αντιληφθούν πλήρως τον τρόπο λειτουργίας τους (Sahin & Yilmaz, 2020). Επιπλέον, ένα σημαντικό αναπτυξιακό χαρακτηριστικό των μαθητών Γυμνασίου είναι η αυξημένη ευαισθησία τους στις συνέπειες της αποτυχίας, καθώς τείνουν να αναλαμβάνουν ρίσκα που μπορεί να οδηγήσουν σε αποτυχία. Παρ' όλα αυτά, είναι ικανοί να αξιοποιούν αυτές τις αποτυχίες ως ευκαιρίες για να εντοπίζουν τα κενά στις γνώσεις τους και να αναλογίζονται τι χρειάζεται να μάθουν. Επίσης, οι μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τη δημιουργικότητά τους, συνδυάζοντας τις προϋπάρχουσες γνώσεις και τις δεξιότητές τους στην επίλυση προβλημάτων, προκειμένου να αναπτύξουν λύσεις (Mazziotti και συν., 2019).

### *2.2.3 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στη τριτοβάθμια εκπαίδευση*

Στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, οι αναφορές σχετικά με την υιοθέτηση της τεχνολογίας από ιδρύματα συνεχούς εκπαίδευσης και κατάρτισης παραμένουν περιορισμένες. Η διεθνής βιβλιογραφία εστιάζει κυρίως στη χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε πανεπιστήμια, όπου εφαρμόζεται για την κατασκευή τρισδιάστατων συστημάτων, επιστημονικών μοντέλων και πειραματικών πρωτοτύπων. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στο πλαίσιο της μάθησης μέσω έργων, καθώς και μέσω της ένταξής της σε υφιστάμενα μαθήματα ή της δημιουργίας νέων μαθημάτων με στόχο την ανάπτυξη δεξιοτήτων στην τρισδιάστατη εκτύπωση.

Συγκεκριμένα, η τρισδιάστατη εκτύπωση αξιοποιείται για τη δημιουργία δοκιμαστικών πρωτοτύπων για πειράματα, καθώς και για την εκμάθηση μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών. Σε διεθνές επίπεδο, πολλά πανεπιστήμια προσφέρουν τόσο προπτυχιακά όσο και μεταπτυχιακά μαθήματα που περιλαμβάνουν τη χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης είτε ως ανεξάρτητο αντικείμενο είτε ως εργαλείο υποστήριξης σε άλλους συναφείς κλάδους (Go & Hart, 2016).

Για παράδειγμα, το Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών και Πληροφοριών του Πανεπιστημίου της Βόρειας Γεωργίας έχει ενσωματώσει την τρισδιάστατη εκτύπωση σε μάθημα γραφικών υπολογιστών, δίνοντας στους φοιτητές την ευκαιρία να αναπτύξουν δεξιότητες μοντελοποίησης, σάρωσης και γρήγορης δημιουργίας πρωτοτύπων. Αντίστοιχα, το MIT (Massachusetts Institute of Technology) προσφέρει ένα προπτυχιακό μάθημα που επικεντρώνεται στις βασικές αρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Επιπλέον, στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος στη Μηχανολογία στο Politecnico di Torino, η ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της στάσης των φοιτητών προς τη μηχανολογία. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε θετική ανταπόκριση από τους φοιτητές όσον αφορά τα κίνητρά τους, την κατανόηση και το ενδιαφέρον τους για το αντικείμενο (Minetola, και συν., 2015).

#### *2.2.4 Τρισδιάστατη Εκτύπωση σε βιβλιοθήκες*

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αρχίσει να αποκτά ευρύτερη χρήση σε διάφορους τύπους βιβλιοθηκών, όπως σχολικές, πανεπιστημιακές, επαγγελματικές, δημόσιες και ιατρικές βιβλιοθήκες. Η συζήτηση γύρω από την ενσωμάτωσή της στις βιβλιοθήκες εντάσσεται σε ένα γενικότερο πλαίσιο που εξετάζει τον ρόλο και τη λειτουργία των βιβλιοθηκών στη σύγχρονη ψηφιακή εποχή. Παρόλο που υπάρχουν επικριτές που υποστηρίζουν ότι η χρήση τεχνολογίας αιχμής στις βιβλιοθήκες συνεπάγεται περιττά έξοδα, η πλειονότητα των μελετητών τάσσεται υπέρ της ενσωμάτωσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Η προσβασιμότητα που προσφέρουν οι βιβλιοθήκες τις καθιστά ιδανικούς χώρους δημιουργικότητας, όπου τρισδιάστατοι εκτυπωτές και άλλες ψηφιακές τεχνολογίες είναι διαθέσιμοι στους επισκέπτες. Αυτό ενθαρρύνει τη φαντασία και τον πειραματισμό, προάγοντας τη δημιουργική διαδικασία (Ford & Minshall, 2019).

### *2.2.5 Τρισδιάστατη Εκτύπωση στην ειδική αγωγή*

Η τρισδιάστατη εκτύπωση βρίσκει εφαρμογή σε εξειδικευμένα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, σχεδιασμένα για άτομα με οπτικές, κινητικές ή γνωστικές αναπηρίες. Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη προσαρμοσμένων συσκευών και εκπαιδευτικών βοηθημάτων, με στόχο να ενισχύσει τη συμμετοχή των μαθητών σε αντικείμενα STEM. Παρόλο που η ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας προσφέρει πολλά οφέλη, συνοδεύεται και από σημαντικές προκλήσεις, όπως καταδεικνύεται από διάφορες έρευνες.

Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι το ενδιαφέρον των μαθητών για την ολοκλήρωση σχεδίων με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή συχνά μειώνεται λόγω της πολυπλοκότητας των λογισμικών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό. Στην έρευνα των Buehler και συνεργατών (2016), δόθηκαν μαθήματα σε μαθητές με αναπηρία σχετικά με τη χρήση του λογισμικού Tinkercad πριν τους ζητηθεί να δημιουργήσουν τα δικά τους τρισδιάστατα σχέδια. Ωστόσο, η συνδυαστική πρόκληση της δυσκολίας του λογισμικού και του περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου είχε ως αποτέλεσμα οι περισσότεροι μαθητές να μην καταφέρουν να σχεδιάσουν πρωτότυπα έργα. Αντίθετα, οι μαθητές επέλεξαν να τροποποιήσουν ή να εκτυπώσουν έτοιμα σχέδια ανοιχτού κώδικα.

Επιπλέον, ο σχεδιασμός σε τρεις διαστάσεις αποδείχθηκε ιδιαίτερα απαιτητικός για μαθητές με αυξημένες ανάγκες υποστήριξης. Αρκετοί θεραπευτές που συμμετείχαν στη συγκεκριμένη έρευνα, αν και αναγνώρισαν τις δυνατότητες της τρισδιάστατης εκτύπωσης, εξέφρασαν ανησυχία για την εκτεταμένη προσπάθεια που απαιτείται για την εκμάθηση του λογισμικού (Buehler και συν., 2016).

## **2.3 Τρόποι χρήσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης στο εκπαιδευτικό σύστημα**

### *2.3.1 Διδασκαλία μαθητών σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση*

Η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται αρχικά για να εξοικειώσει τους μαθητές με τη λειτουργία των εκτυπωτών και να ενισχύσει τις δεξιότητές τους στον τομέα αυτό. Ένας βασικός διαχωρισμός στη διδασκαλία αφορά την ενεργητική και παθητική

ενσωμάτωση της τεχνολογίας στα αναλυτικά προγράμματα. Η ενεργητική ενσωμάτωση περιλαμβάνει την ανάπτυξη μαθημάτων και έργων που επικεντρώνονται αποκλειστικά στη διδασκαλία δεξιοτήτων τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αντίθετα, η παθητική ενσωμάτωση αφορά τη χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών για την υποστήριξη της διδασκαλίας άλλων θεματικών περιοχών. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως στα STEM μαθήματα, ειδικά σε θέματα σχεδιασμού και μηχανικής.

Στο πλαίσιο της ενεργητικής ενσωμάτωσης, μαθητές από δύο ελληνικά σχολεία συμμετείχαν σε ένα πρόγραμμα 700 ωρών, όπου διδάχθηκαν δεξιότητες τρισδιάστατης εκτύπωσης. Στη διάρκεια του προγράμματος, οι μαθητές εξοικειώθηκαν με βασικά λογισμικά τρισδιάστατης μοντελοποίησης και την διαδικασία σχεδιασμού. Μέσω πειραματισμού με λογισμικό CAD ανοιχτού κώδικα, προχώρησαν σε τρισδιάστατες εκτυπώσεις αντικειμένων, ακολουθώντας μια διαδικασία δοκιμής και λάθους, ενώ στη συνέχεια αναστοχάστηκαν πάνω στα διδάγματα που αποκόμισαν. Μια από τις προκλήσεις που αναδείχθηκαν ήταν η διαφορετική τεχνολογική εξοικείωση και δέσμευση μεταξύ των μαθητών, γεγονός που δημιούργησε ανισότητες στην τάξη και οδήγησε τους εκπαιδευτές να προσαρμόσουν τη διδασκαλία τους στις ανάγκες των μαθητών. Επιπλέον, η ελευθερία που δόθηκε στους μαθητές να σχεδιάσουν τα δικά τους αντικείμενα απαίτησε εντατική καθοδήγηση από τους εκπαιδευτές, ειδικά σε περιπτώσεις τεχνικών προκλήσεων κατά τον σχεδιασμό (Ford & Minshall, 2018).

Σε ένα διαφορετικό πρόγραμμα, το Πανεπιστήμιο του Χονγκ Κονγκ ανέπτυξε ένα παιδαγωγικό μοντέλο επτά βημάτων για την εισαγωγή της διδασκαλίας τρισδιάστατης εκτύπωσης σε ένα μάθημα γενικής εκπαίδευσης με επίκεντρο τη μηχανική. Η ανάλυση της ανατροφοδότησης από τους φοιτητές έδειξε ότι η τεχνολογία ήταν εύκολα κατανοητή, ενώ το λογισμικό CAD κρίθηκε εύχρηστο. Με την καθοδήγηση του εκπαιδευτή, η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στα έργα μάθησης ενίσχυσε τα κίνητρα των φοιτητών και την ανάπτυξη καινοτόμων ιδεών. Παρόλα αυτά, υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις αντιλήψεις για τον φόρτο εργασίας και τη δυσκολία του μαθήματος, οι οποίες αποδόθηκαν στο διαφορετικό τεχνολογικό υπόβαθρο των φοιτητών, πολλοί από τους οποίους δεν προέρχονταν από επιστημονικά πεδία (Chiu και συν., 2015).

### *2.3.2 Διδασκαλία εκπαιδευτικών σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση*

Παρά τα πιθανά οφέλη, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στο εκπαιδευτικό σύστημα συναντά αρκετά εμπόδια. Εκτός από τα θεσμικά, πολιτικά, και ζητήματα που αφορούν την αξιολόγηση και τους πόρους, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν επίσης τις στάσεις, τις αντιλήψεις, τις γνώσεις και τις δεξιότητες των εκπαιδευτικών. Ως τεχνολογία ψηφιακής κατασκευής, η τρισδιάστατη εκτύπωση (3DP) δεν αποτελεί εξαίρεση στις δυσκολίες αυτές. Έχει διαπιστωθεί ότι πολλοί από τους σημερινούς εκπαιδευτικούς δεν είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες της συγκεκριμένης τεχνολογίας (Bull και συν., 2014).

Η έλλειψη αυτή αποδίδεται στο γεγονός ότι αρκετοί εκπαιδευτικοί δεν διαθέτουν επαρκείς γνώσεις σχετικά με τη μηχανική και τις βασικές αρχές της, τη λειτουργία της σκέψης ή την προσέγγιση της σχεδιαστικής σκέψης. Τέτοιου είδους δεξιότητες και τεχνογνωσία δεν παρέχονται συχνά στα προγράμματα προετοιμασίας των εκπαιδευτικών. Επιπλέον, η απουσία επαρκούς καθοδήγησης για τη χρήση και τη συντήρηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης δημιουργεί μια ευρύτερη ανάγκη στο εκπαιδευτικό σύστημα να εστιάσει στην εκπαίδευση των δασκάλων για την τεχνολογία 3DP. Συγκεκριμένα, απαιτείται υποστήριξη για την επαγγελματική τους ανάπτυξη και ενίσχυση της ικανότητάς τους να διδάσκουν αποτελεσματικά την τρισδιάστατη εκτύπωση στους μαθητές (Bull και συν., 2014).

## **2.4. Η επίδραση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην εκπαίδευση των μαθητών της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης**

### *2.4.1 Βελτίωση της παρατήρησης και της συγκέντρωσης*

Για την πραγματοποίηση τρισδιάστατης εκτύπωσης, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου όπως αναφέρθηκε εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η διαδικασία κατασκευής ενός απλού μοντέλου από τους μαθητές περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια. Πρώτον, το αντικείμενο εξετάζεται λεπτομερώς, ενώ ακολουθεί η χρήση ειδικού λογισμικού για τη δημιουργία του μοντέλου σε μια συγκεκριμένη κλίμακα. Μέσω της προσεκτικής παρατήρησης όλων των χαρακτηριστικών του αντικειμένου, τόσο εξωτερικών όσο και της εσωτερικής του διατομής, οι μαθητές

μπορούν να το αναπαράγουν πιστά. Αυτή η διαδικασία παρατήρησης αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων τους.

Στην παραδοσιακή εκπαιδευτική προσέγγιση, οι μαθητές αντιλαμβάνονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των τρισδιάστατων αντικειμένων κυρίως μέσω της όρασης, γεγονός που περιορίζει την κατανόησή τους σε μια επιφανειακή προσέγγιση χωρίς επαφή με το φυσικό αντικείμενο. Στη συνέχεια η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά αυτή την εμπειρία. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας, οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τις ιδιότητες ενός αντικειμένου μέσω της όρασης και της αφής, διευκολύνοντας έτσι την πιο ουσιαστική κατανόησή τους.

Ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία για τρισδιάστατη εκτύπωση είναι τα χειροκίνητα στυλό εκτύπωσης που χρησιμοποιούν νήματα PCL (Polycaprolactone). Αυτά τα στυλό απαιτούν από τους μαθητές να δουλεύουν με αυτονομία, ολοκληρώνοντας την εκτύπωση σταδιακά, στρώμα προς στρώμα. Η διαδικασία αυτή απαιτεί την κατανόηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κάθε επιπέδου, γεγονός που ενισχύει την προσοχή και τη συγκέντρωσή τους. Επιπλέον, οι μαθητές καλούνται να ρυθμίζουν με ακρίβεια την ταχύτητα και τη διάμετρο του νήματος, γεγονός που τους βοηθά να βελτιώσουν τις δεξιότητες συγκέντρωσης και ακρίβειας (Chen & Cheng, 2021).

#### *2.4.2 Ενίσχυση της δημιουργικότητας*

Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης λειτουργεί ως εργαλείο που ενισχύει τη δημιουργικότητα στην εκπαίδευση, προσφέροντας στους μαθητές την ευκαιρία να γίνουν δημιουργοί καινοτόμων επιστημονικών και τεχνολογικών προϊόντων, ακόμη και σχεδίων που αφορούν το μέλλον. Η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Σύλληψη ιδέας
- Τρισδιάστατη μοντελοποίηση
- Εκτύπωση του αντικειμένου
- Αξιολόγηση και προβληματισμός
- Βελτίωση του μοντέλου

Κατά τη φάση της δημιουργίας ιδεών, οι μαθητές σχεδιάζουν απλά μοντέλα μέσω παρατήρησης αντικειμένων και κατανόησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους. Στη συνέχεια, εμπλουτίζουν τα μοντέλα με τις δικές τους μοναδικές ιδέες, καθιστώντας τα πιο ευέλικτα και δημιουργικά. Μέσω αυτής της διαδικασίας, οι μαθητές αναπτύσσουν όχι μόνο τις πρακτικές τους δεξιότητες, αλλά και την ικανότητά τους στη δημιουργική σκέψη και την επίλυση προβλημάτων.

Ως αποτέλεσμα, οι μαθητές της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δεν περιορίζονται στο ρόλο του καταναλωτή της τεχνολογικής και επιστημονικής εξέλιξης. Αντιθέτως, ενδυναμώνονται ώστε να γίνουν οι ίδιοι πρωτοπόροι, συμβάλλοντας ενεργά στη διαμόρφωση του μέλλοντος της επιστήμης και της τεχνολογίας (Chen & Cheng, 2021).

#### *2.4.3 Βελτίωση της ανεξαρτησίας στη μάθηση*

Στην παραδοσιακή διδασκαλία, ορισμένες αφηρημένες έννοιες παρουσιάζουν δυσκολίες στην κατανόηση, καθώς οι εκπαιδευτικοί συχνά περιορίζονται στη χρήση εικόνων ή κινούμενων σχεδίων για την εξήγησή τους. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης προσφέρει μια καινοτόμο λύση, επιτρέποντας τη μετατροπή αφηρημένων εννοιών σε απτά και διαισθητικά φυσικά μοντέλα. Αυτή η προσέγγιση ενισχύει τη μαθησιακή εμπειρία, καθώς βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα τις έννοιες και να αποκτήσουν πιο ανεξάρτητες μαθησιακές συνήθειες.

Για παράδειγμα, στο μάθημα της χημείας, οι μαθητές διδάσκονται τη σύνθεση ενός μορίου νερού, το οποίο αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή για να κατασκευάσει τρεις σφαίρες: δύο μικρότερες, που αντιπροσωπεύουν τα άτομα υδρογόνου, και μία μεγαλύτερη, που αντιπροσωπεύει το άτομο οξυγόνου. Τοποθετώντας τις δύο μικρότερες σφαίρες εκατέρωθεν της μεγαλύτερης, δημιουργείται ένα φυσικό μοντέλο του μορίου νερού.

Αυτό το φυσικό αντικείμενο γεννά ερωτήματα στους μαθητές, όπως:

- Γιατί οι σφαίρες δεν έχουν το ίδιο μέγεθος;

- Γιατί η μεγαλύτερη σφαίρα βρίσκεται στο κέντρο;
- Ποιος είναι ο λόγος που το μόριο νερού αποτελείται από αυτά τα συγκεκριμένα άτομα σε συγκεκριμένη αναλογία;

Η περιέργεια που προκύπτει από τέτοιες ερωτήσεις ωθεί τους μαθητές να αναζητήσουν απαντήσεις, να επεξεργαστούν τις πληροφορίες ανεξάρτητα και να κατανοήσουν σε βάθος τη δομή και τη λειτουργία του μορίου.

Η εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης στη διδασκαλία, επομένως, υπερβαίνει τα εμπόδια κατανόησης αφηρημένων εννοιών ή φαινομένων που δεν είναι άμεσα αισθητά. Αυτό όχι μόνο ενισχύει τη μνήμη των μαθητών, αλλά τους επιτρέπει να μεταβούν από την παθητική αποδοχή γνώσεων στην ενεργητική και βιωματική μάθηση, προάγοντας την κριτική σκέψη και τη δημιουργικότητα (Chen & Cheng, 2021).

#### *2.4.4 Ανάπτυξη της χωρικής αντίληψης*

Η χωρική φαντασία, δηλαδή η ικανότητα κατανόησης και επεξεργασίας του χώρου, αποτελεί μία κρίσιμη διάσταση της φαντασίας που, σύμφωνα με ερευνητές, σχετίζεται άμεσα με τις επιδόσεις στη γεωμετρία (Ng και συν., 2020). Οι μαθητές, χρησιμοποιώντας ένα απλό λογισμικό μοντελοποίησης, σχεδιάζουν τρισδιάστατες χωρικές οντότητες, καλλιεργώντας τη χωρική τους αντίληψη και ενισχύοντας την κατανόηση της τρισδιάστατης γεωμετρίας.

Η εισαγωγή της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην τυπική εκπαίδευση συμβάλλει στην ποιοτική αναβάθμιση της εκπαιδευτικής διαδικασίας, στοχεύοντας στην καλλιέργεια του ολοκληρωμένου αλφαριθμητισμού των μαθητών, με ιδιαίτερη έμφαση στη χωρική κατανόηση. Μέσω αυτής της προσέγγισης, οι μαθητές αποκτούν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν σταδιακά τις σχέσεις μεταξύ απλών αντικειμένων και συνδυασμών γεωμετρικών στοιχείων.

Η κατασκευή μεμονωμένων γεωμετρικών αντικειμένων μπορεί να υποστηριχθεί από εικόνες ή αντικείμενα που παρέχει ο εκπαιδευτικός. Ωστόσο, η δημιουργία συνδυασμών γεωμετρικών αντικειμένων συχνά προκαλεί δυσκολίες στους μαθητές, καθώς αδυνατούν να σχηματίσουν χωρικές έννοιες στο μυαλό τους. Χάρη στο απλό

λογισμικό μοντελοποίησης, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να συνδυάσουν πολλά τρισδιάστατα αντικείμενα, παρατηρώντας τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά από διαφορετικές κατευθύνσεις και γωνίες (360°). Αυτό το δυναμικό εργαλείο ενισχύει τη φαντασία τους για το χώρο και τους επιτρέπει να προσεγγίσουν τη γεωμετρία με δημιουργικότητα και ευελιξία.

Η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων σε ένα εικονικό περιβάλλον, καθώς και η δυνατότητα χειρισμού τους, είναι ουσιαστικής σημασίας για την ανάπτυξη της χωρικής σκέψης. Παράλληλα, ενισχύονται οι δεξιότητες οπτικοποίησης, οι οποίες αποτελούν θεμέλιο όχι μόνο για την κατανόηση των μαθηματικών αλλά και για άλλα γνωστικά πεδία.

Η χωρική σκέψη, σε συνδυασμό με τη χρήση χωρικών αναπαραστάσεων, βρίσκει εφαρμογή στις πρακτικές σχεδιασμού, ιδιαίτερα όταν το ζητούμενο είναι η παραγωγή ενός απτού αντικειμένου από ένα εικονικό πρωτότυπο. Κατά τη διαδικασία αυτή, λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως το σχήμα, το μέγεθος, οι χωρικές σχέσεις, η διάταξη, η αναλογία και η συνολική αντίληψη του χώρου (Zhu και συν., 2024).

#### *2.4.5 Ανάπτυξη της ικανότητα σκέψης και της επίλυσης προβλημάτων*

Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης, όπως εφαρμόζεται στη βιομηχανία, ξεκινά συχνά με την κατασκευή ενός πρωτοτύπου για την επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου, το οποίο πολλές φορές δεν ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες. Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα πρέπει να βρεθεί σε μεταγενέστερο στάδιο συνεχούς αναθεώρησης. Αυτή η προσέγγιση κατασκευής πρώτα κάποιων πρωτοτύπων και στη συνέχεια τελειοποίησής τους εφαρμόζεται και στον κλάδο της εκπαίδευσης. Η γνώση του μαθητή ξεκινάει ως μοντέλο το οποίο προήρθε από την παρατήρηση όπως προαναφέρθηκε και στη συνέχεια ανάπτυξη του μοντέλου στο λογισμικό, με το σχήμα του μοντέλου να είναι περίπου το ίδιο με το μοντέλο που έχει ο μαθητής στο μυαλό του. Ωστόσο, η εκτύπωση δεν είναι 100% ακριβής.

Για παράδειγμα, για την εκτύπωση ενός κυπέλλου νερού, το πάχος του ποτηριού νερού μπορεί να ρυθμιστεί τεχνητά στο λογισμικό. Αν το πάχος είναι πολύ λεπτό μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή νερού ενώ το πολύ παχύ μπορεί να είναι πολύ βαρύ ή μη

ελκυστικό. Το κριτήριο για να κρίνουμε εάν ένα φυσικό αντικείμενο ανταποκρίνεται στις προσδοκίες είναι αν ανταποκρίνεται στις ανάγκες όσον αφορά την εφαρμογή του. Αυτό απαιτεί από τους μαθητές να αναλογιστούν το μοντέλο και να ανοίξουν το μυαλό τους στη βελτιστοποίηση του μοντέλου. Μόνο με προσεκτικό στοχασμό και βελτίωσή του μπορούμε να λύσουμε πραγματικά προβλήματα. Μέσα από αυτή την διαδικασία, οι μαθητές μπορούν να βελτιώσουν την αυτοπεποίθησή τους, καθιστώντας ταυτόχρονα, τον τρισδιάστατο εκτυπωτή ένα πραγματικό βιομηχανικό και καινοτόμο μηχανικό προϊόν. Οι μαθητές θα πρέπει να μάθουν πώς να χρησιμοποιούν τον τρισδιάστατο εκτυπωτή, και πώς λειτουργεί και το λογισμικό μοντελοποίησης στη διαδικασία. Όταν το μηχάνημα χαλάσει, πρέπει επίσης να μάθουν πώς να αντιμετωπίζουν προβλήματα. Οι μαθητές θα αναπτύξουν κριτική σκέψη, υπομονή στην επίλυση δυσλειτουργιών μηχανής και επιμονή στην επίλυση ενός προβλήματος.

#### *2.4.6 Ανάπτυξη συνεργασίας*

Με την χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών στην τάξη μπορεί να μετατραπεί οποιοδήποτε μάθημα σε μια διαδραστική μαθησιακή εμπειρία. Είτε πρόκειται για την παρατήρηση του πραγματικού αντικειμένου, είτε για τον σχεδιασμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της χωρικής θέσης του μοντέλου, είτε για προβληματισμό σχετικά με την ανάγκη βελτίωσης του μοντέλου μετά τη μοντελοποίηση, είτε για τη λύση μιας δυσλειτουργικής συσκευής, οι μαθητές θα χρειαστούν την συνεργασία τόσο των συμμαθητών τους όσο και των εκπαιδευτικών για την ολοκλήρωση της εργασίας. Η συλλογική σκέψη είναι τεράστια και οι λύσεις στο εκάστοτε πρόβλημα γίνονται αμέτρητες, ενώ παράλληλα υπάρχει μια αίσθηση ικανοποίησης για κάθε συμμετέχοντα στο τελικό προϊόν. Η τάξη δεν είναι πλέον μια μονόπλευρη μεταφορά γνώσης από τον δάσκαλο στους μαθητές, αλλά μια επικοινωνιακή διαδικασία μάθησης. Όχι μόνο μαθαίνουν οι μαθητές, αλλά και ο δάσκαλος μαθαίνει από αυτήν την εμπειρία με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας της διδασκαλίας.

#### *2.5 Παιδαγωγική αξιοποίηση του Tinkercad*

Η πρακτική εμπειρία της δημιουργίας, που υποστηρίζεται από το Maker Movement (Κίνημα των Δημιουργών: συγκεντρώνει ανθρώπους που κάνουν δραστηριότητες DIY

(Do It Yourself)), πυροδοτώντας κοινότητες σε όλο τον κόσμο, θεωρείται αποτελεσματική για μαθησιακούς σκοπούς λόγω των ριζών της στις αρχές της ενεργητικής μάθησης, που συνεπάγονται τη διασύνδεση μεταξύ γνωστικής, κοινωνικής και σωματικής εμπλοκής. Η δημιουργία είναι μια ισχυρή, προσωπική έκφραση της ανθρώπινης σκέψης και προάγει μια αίσθηση ιδιοκτησίας, δημιουργικότητας και αισθητικής που έχει θετικό αντίκτυπο στη συμμετοχή των μαθητών σε όλα τα επίπεδα. Η έννοια της κατασκευής μπορεί να είναι πιο άμεση και πρακτική, μετατρέποντας τις ιδέες σε τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιώντας μόνο φυσικούς χειρισμούς, ωστόσο μπορεί να είναι μια ευέλικτη διαδικασία μάθησης, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής αντικειμένων βελτιωμένης τεχνολογίας. Η τεχνολογία μπορεί να έχει ένα συγκεκριμένο ρόλο σε αυτό το πλαίσιο, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη ιδεών και την επίλυση προβλημάτων, μέσω της χρήσης διαφορετικών πόρων, θέτοντας προβλήματα που οδηγούν στο χειρισμό και τη δημιουργία αντικειμένων με τη μεσολάβηση της τεχνολογίας (Ng & Chan, 2018).

Σε αυτή τη μελέτη, επιλέξαμε το Tinkercad ένα δωρεάν, εύχρηστο λογισμικό CAD, μια πλατφόρμα βασισμένη στο web, με δυνατότητα μεταφοράς και απόθεσης. Δεδομένου ότι είναι λογισμικό που βασίζεται στο διαδίκτυο, δεν απαιτεί εγκατάσταση ή ειδικό υλικό, με αποτέλεσμα να γίνεται ευκολότερη η προσβασιμότητα τόσο για εκπαιδευτικούς όσο και για μαθητές. Ο χρήστης δημιουργεί τα σχέδια σύροντας τα σχήματα από το μενού, ρίχνοντάς τα στην πλάκα κατασκευής και τροποποιώντας τα τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιώντας μια απλή και διαισθητική διεπαφή. Τα τρισδιάστατα αντικείμενα μπορούν να σχεδιαστούν με κωδικοποίηση μπλοκ και όλα τα υποτιμήματα (στερεά) πρέπει να δημιουργηθούν με ξεχωριστές κωδικοποιήσεις και στη συνέχεια να ομαδοποιηθούν (Küçük και συν., 2024).

Το λογισμικό CAD και η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ισχυρά εργαλεία μάθησης που μπορούν να εμπλέξουν τους μαθητές στην ενεργό μάθηση και ιδιαίτερα να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του μηχανικού σχεδιασμού. Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εργαστούν με αυθεντικά προβλήματα, σχεδιάζοντας, κατασκευάζοντας και αξιολογώντας τα πρωτότυπα από την άποψη της αποτελεσματικότητας (Cheng και συν., 2024). Το λογισμικό CAD είναι το πρώτο βήμα για τη μετατροπή ενός σχεδίου σε φυσικό αντικείμενο, το οποίο μπορεί να βελτιωθεί, οδηγώντας σε μια πιο αποτελεσματική ή δημιουργική πρόταση. Το τυπωμένο τρισδιάστατο μοντέλο καθιστά απτές τις ιδέες που εκφράζονται στο χαρτί ή στο εικονικό περιβάλλον, γεγονός το οποίο

επιτρέπει στους μαθητές να συγκρίνουν προηγούμενες ιδέες και σκίτσα με το τελικό προϊόν, προκαλώντας την προσοχή των μαθητών σε ορισμένες λεπτομέρειες οι οποίες μπορούν να βελτιωθούν. Σε αντίθεση με τις περισσότερες σύγχρονες τεχνολογίες, η τρισδιάστατη εκτύπωση απαιτεί κιναισθητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρηστών και των εκτυπωμένων φυσικών αντικειμένων, επομένως, προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες ενασχόλησης των μαθητών σε πρακτική και βιωματική μάθηση, «φέρνοντας στη ζωή» κάτι που προηγουμένως ήταν απρόσιτο (Drijvers, και συν., 2023).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Ορισμένες από τις έρευνες αναδεικνύουν το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η 3DMP στην επίτευξη των μαθησιακών στόχων STEM στα σχολεία. Κατά τη διαδικασία διδασκαλίας και κατανόησης αφηρημένων επιστημονικών εννοιών, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να εισάγει πραγματικές αναφορές με ένα γρήγορο φυσικό μοντέλο για να βοηθήσει τους μαθητές να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση της νέας αφηρημένης γνώσης. Η ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης και ο συλλογισμός των μαθητών είναι συστατικά ενός μεγάλου συνόλου δραστηριοτήτων που συνιστούν την διαδικασία «κάνω επιστήμη». Χρησιμοποιώντας ένα πρακτικό πρόγραμμα σπουδών, η τεχνολογία 3D εκτύπωσης μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να «κάνουν επιστήμη» βελτιώνοντας αποτελεσματικά τις επιστημονικές τους γνώσεις και τις πρακτικές ικανότητές τους μέσω της ανταλλαγής ιδεών, της έκφρασης απόψεων και της δημιουργίας προϊόντων με τους συμμαθητές τους (Hsieh & Tsai, 2017).

### **3.2 Έρευνες για την χρήση στην εκπαίδευση**

Το 2013 το πανεπιστήμιο της Βιρτζίνια σε συνεργασία με τα δημοσιά σχολεία της πόλης Charlottesville ιδρύει το Laboratory School for Advanced Manufacturing (Lab School). Το Lab School βασίζεται στην προϋπόθεση ότι οι μαθητές μπορούν να μάθουν μέσω της διαδικασίας σχεδιασμού και κατασκευής και έτσι στο πρόγραμμα συμμετείχαν μαθητές όλων των επιπέδων. Οι εκτυπωτές προσφέρουν στους μαθητές την ευκαιρία να δουν τις ιδέες και τις έννοιές τους να υλοποιούνται σε φυσική μορφή. Για παράδειγμα, τα κιτ της εφεύρεσης που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σε μαθήματα μηχανικής χρησιμοποιούνται για την προώθηση της μάθησης μέσω σχετικών πειραμάτων σε μαθήματα φυσικών επιστημών. Η επίτευξη αυτών των πλεονεκτημάτων απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό. Οι παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν περιλαμβάνουν και τα δύο παιδαγωγικά στοιχεία όπως η ευθυγράμμιση με τους εκπαιδευτικούς στόχους και οι βιομηχανικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν την προμήθεια υλικών, ροή εργασιών και προγραμματισμός. Αυτές οι

δραστηριότητες μπορεί να ενθαρρύνουν το ενδιαφέρον για τη μηχανική ως καριέρα για ορισμένους φοιτητές. Αλλιώς οι μαθητές θα κατακτήσουν σχετικές δεξιότητες που θα διευκολύνουν την εργασία τους σε άλλους τομείς και θα υποστηρίξουν ενδιαφέροντα που σχετίζονται με την προσωπική εκπλήρωση σε τομείς όπως οι τέχνες (Bull και συν., 2015).

Σε έργο το οποίο πραγματοποιήθηκε στο Οικολογικό Μουσείο Ζαγορίου, στο πλαίσιο Ευρωπαϊκού Προγράμματος για την εκπαίδευση, την κατάρτιση, τη νεολαία και τον αθλητισμό, συμμετείχαν 11 μαθητές λυκείων της Πορτογαλίας. Το εκπαιδευτικό έργο διήρκεσε 25 ημέρες και περιλάμβανε την τρισδιάστατη εκτύπωση στοιχείων πολιτιστικής κληρονομιάς που προοριζόταν για άτομα με προβλήματα όρασης. Για τη δημιουργία ενός εκπαιδευτικού σεναρίου χρησιμοποιήθηκαν οι αρχές της άτυπης εκπαίδευσης σε συνδυασμό με την έννοια του κονστрукτιβισμού με επίκεντρο τον γεωπολιτισμικό τουρισμό για άτομα με οπτική αναπηρία. Και σε αυτή την περίπτωση στα συμπεράσματα των δημιουργών του προγράμματος συμπεριλήφθηκε ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να ενισχύσει την ενεργό συμμετοχή των μαθητών στις εκπαιδευτικές διαδικασίες, και να ενθαρρύνει μια ουσιαστική επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων με και χωρίς οπτική αναπηρία μέσω της απτής εξερεύνησης γεωπολιτισμικών στοιχείων (Pantazis & Priavolou, 2017).

Το 2018 οι Hsiao και συν. πραγματοποίησαν μια μελέτη, σε σχολείο στην Taiwan, η οποία συνδύασε την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης με βιωματικές στρατηγικές μάθησης (experiential learning strategies, ELS) σχεδιάζοντας ένα πρόγραμμα σπουδών μηχανικής για μαθητές λυκείου. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην ενότητα «Ενέργεια» ως το περιεχόμενο του μαθήματος και στη δημιουργία «Wind Power Generation» (Παραγωγή αιολικής ενέργειας). Οι αφηρημένες επιστημονικές έννοιες ήταν δύσκολο να συγκεκριμενοποιηθούν στη διδασκαλία, και οι μαθητές δυσκολεύονταν να κατανοήσουν όρους, έννοιες και τύπους που σχετίζονται με την παραγωγή αιολικής ενέργειας, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, η μηχανική και η μετατροπή ενέργειας.

Στην έρευνα συμμετείχαν τρεις ομάδες μαθητών. Μια πειραματική ομάδα η οποία χρησιμοποιούσε τρισδιάστατο εκτυπωτή σε συνδυασμό με βιωματική μάθηση, μια δεύτερη πειραματική ομάδα η οποία χρησιμοποιούσε τρισδιάστατο εκτυπωτή με παραδοσιακή διδασκαλία και μια ομάδα ελέγχου στην οποία οι μαθητές δικάσθηκαν την ενότητα με τον παραδοσιακό τρόπο. Οι μαθητές που διδάχθηκαν χρησιμοποιώντας

την τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης κατανοούσαν τις αφηρημένες επιστημονικές έννοιες καλύτερα από εκείνους που έμαθαν χρησιμοποιώντας το παραδοσιακά πρακτικά εργαλεία και οι μαθητές που έμαθαν χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης με ELS αποδείχθηκε ότι απέκτησαν καλύτερη πρακτική ικανότητα από τις άλλες δύο ομάδες. Η χρήση τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης με ELS είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά θετικά αποτελέσματα στις πρακτικές διαδικασίες των συμμετεχόντων, στις οποίες οι μαθητές ενίσχυσαν τη σύνδεση μεταξύ γνώσης και χειροποίητων προϊόντων, με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανόηση αφηρημένων επιστημονικών εννοιών και πρακτικής ικανότητας.

Οι Novak και Wisdom το 2019 πραγματοποιούν ένα έργο με 41 υποψήφιους δασκάλους από ένα δημόσιο πανεπιστήμιο των ΗΠΑ οι οποίοι συμμετείχαν σε μια καθοδηγούμενη ερευνητική δραστηριότητα που απαιτούσε το σχεδιασμό ενός μικρού σκάφους χρησιμοποιώντας τεχνολογία τρισδιάστατης μοντελοποίησης και εκτύπωσης. Οι φοιτητές εισήχθησαν στην τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης και τις δυνατότητές της για διδασκαλία θεμάτων φυσικών επιστημών που αφορούν τεχνολογία και μηχανικό σχεδιασμό. Διδάχθηκαν σε εργαστήριο το οποίο ήταν διαθέσιμος τρισδιάστατος εκτυπωτής, όπου μπορούσαν να εκπαιδευτούν στην λειτουργία της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, καθώς και στον σχεδιασμό τρισδιάστατων μοντέλων χρησιμοποιώντας το λογισμικό Tinkercad. Οι ερευνήτριες προκυμμένου να αξιοποιήσουν την εκπαιδευτικές δυνατότητες της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποίησαν τις αρχές ενεργητικής μάθησης και επίλυσης προβλημάτων στον πραγματικό κόσμο συνδυάζοντας τες με ένα ελκυστικό και παρακινητικό πλαίσιο (Thibaut και συν., 2018).

Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την συγκεκριμένη ερευνα των Novak και Wisdom (2019) δεν διαφέρουν με αυτά άλλων ερευνών. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι τα μαθήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης που εμπλέκουν τους φοιτητές στην ενεργό δόμηση της γνώσης και προωθούν τη συνεργασία με άλλους παρέχουν εμπειρίες σχεδίασης πραγματικού κόσμου ενώ παράλληλα παρέχουν ευκαιρίες για δημιουργικό σχεδιασμό και διαδικασίες κατασκευής. Επιπλέον, τα έργα τρισδιάστατης εκτύπωσης φάνηκε ότι μπορούν να ενισχύσουν τις δεξιότητες επικοινωνίας καθώς οι φοιτητές ενθαρρύνονταν να επικοινωνήσουν τη σκέψη και τις ιδέες που σχετίζονται με το έργο, μέσω γραφής, ομιλίας, ανάγνωσης και ακρόασης. Για τους ερευνητές τέλος έγινε κατανοητό ότι η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για

την προώθηση της διεπιστημονικής εκπαίδευσης συνδέοντας το STEM με τον αλφαριθμητισμό, τις τέχνες, την ιστορία και άλλα θέματα εκτός STEM.

Η έρευνα των Pantazis και συν. (2021) εξετάζει την επίδραση της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης στις γνώσεις περιεχομένου, το άγχος και το ενδιαφέρον των μαθητών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης για τις Φυσικές Επιστήμες. Η μελέτη διεξήχθη με μια πειραματική ομάδα που ενσωμάτωσε τη χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης και μια ομάδα ελέγχου που ακολούθησε την παραδοσιακή διδακτική μέθοδο. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι οι μαθητές που συμμετείχαν σε δραστηριότητες με τρισδιάστατους εκτυπωτές παρουσίασαν σημαντική βελτίωση στη γνώση των επιστημονικών εννοιών σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη έρευνα το επίπεδο του άγχους τους μειώθηκε, ενώ το ενδιαφέρον τους για τις επιστήμες αυξήθηκε και στις δυο ομάδες ανεξάρτητα από την διδακτική μέθοδο. Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την ενίσχυση της διδασκαλίας στις Φυσικές Επιστήμες, ιδιαίτερα όσον αφορά την εμπλοκή των μαθητών και την κατανόηση αφηρημένων εννοιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΑΓΧΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΟΥΣ

### 4.1 Ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες

Το ενδιαφέρον συχνά θεωρείται σημαντική πηγή εγγενών κινήτρων, ωστόσο, όταν οι μαθητές μεταβαίνουν από την πρωτοβάθμια στη δευτεροβάθμια και μετέπειτα στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, το ενδιαφέρον τους για τις Φυσικές Επιστήμες μειώνεται. Επιπλέον του γεγονότος αυτού παρατηρείται ότι το ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες και την τεχνολογία μεταξύ μαθητών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης είναι χαμηλό, σε αντίθεση με πολλές χώρες εκτός Ευρώπης και ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, στις οποίες φαίνεται ότι ενδιαφέρον τόσο για τις Φυσικές Επιστήμες όσο και την τεχνολογία παραμένει ισχυρό (Van Griethuijsen και συν., 2015).

Οι ερευνητές διακρίνουν δύο τύπους ενδιαφέροντος, το ατομικό ενδιαφέρον και το περιστασιακό ενδιαφέρον. Το ατομικό ενδιαφέρον είναι μια σχετικά σταθερή, διαρκής προσωπική προδιάθεση ενός ατόμου να παρακολουθήσει ή να συμμετέχει σε μια συγκεκριμένη κατηγορία εργασιών, αντικειμένων, γεγονότων ή ιδεών. Το ατομικό ενδιαφέρον αναπτύσσεται με την πάροδο του χρόνου ως αποτέλεσμα εμπειριών ζωής, έμφυτων προτιμήσεων ή προσανατολισμών. Για παράδειγμα, ένας μαθητής μπορεί να έχει έντονο προσωπικό ενδιαφέρον για την εξερεύνηση φυσικών φαινομένων, ενώ ένας άλλος μαθητής μπορεί να έχει ατομικό ενδιαφέρον να μάθει για τη μουσική.

Το περιστασιακό ενδιαφέρον ενεργοποιείται μέσα από το περιβάλλον του ατόμου και εμφανίζεται όταν μια συγκεκριμένη κατάσταση διεγείρει την προσοχή του (Hidi, 2006· Silvia, 2006). Είναι μια στιγμιαία ψυχολογική κατάσταση θετικού συναισθήματος και αυξημένης συγκέντρωσης, που μπορεί να μην διαρκέσει για πολύ. Για παράδειγμα, ένα εκπληκτικό εργαστηριακό πείραμα φυσικών επιστήμων μπορεί να προκαλέσει αμέσως το ενδιαφέρον ενός μαθητή, παρόλο που συνήθως δεν ενδιαφέρεται για σχετικά μαθήματα.

Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για να αναδειχτούν οι παράγοντες που καθορίζουν το ενδιαφέρον των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες, την τεχνολογία, την μηχανική και τα μαθηματικά. Ο Han (2017) διαπίστωσε ότι το ενδιαφέρον των μαθητών για τα μαθήματα STEM εξαρτάται από τη στάση τους απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες και

την τεχνολογία. Σύμφωνα με τους Sahin και συν. (2017), το ενδιαφέρον των μαθητών για μαθήματα STEM εξαρτάται από τις προσδοκίες των γονέων και τις πεποιθήσεις των μαθητών. Οι ίδιοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι υψηλότερα επίπεδα αποτελεσματικότητας στα μαθηματικά και στις Φυσικές Επιστήμες ήταν ένας παράγοντας πρόβλεψης θετικού ενδιαφέροντος για τα μαθήματα STEM. Επιπλέον βρέθηκε ότι κοινωνικές δεξιότητες και αυτό-αποτελεσματικότητα των μαθητών γυμνασίου προέβλεψε θετικά το ενδιαφέρον τους να παρακολουθήσουν μαθήματα STEM (Ito & McPherson, 2018). Οι Jeffries και συν. (2020) διαπίστωσαν ότι το ενδιαφέρον των μαθητών για μαθήματα STEM εξαρτάται από τον σεβασμό τους για τις Φυσικές Επιστήμες, και την αυτοαντίληψη στα μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες.

Οι μελετητές σημείωσαν πολλά θετικά αποτελέσματα όταν οι εκπαιδευτικοί ενσωματώνουν το STEM στην τάξη. Για παράδειγμα, οι Siregar και συν. (2020) δήλωσαν ότι η προσέγγιση θα μπορούσε να καλλιεργήσει αισιόδοξες στάσεις και ενδιαφέροντα, να βελτιώσει τις δεξιότητες επίδοσης και επίλυσης προβλημάτων, να ενισχύσει τις επικοινωνιακές δεξιότητες και να ευαισθητοποιήσει τους διαχειριστές της εκπαίδευσης για τις αναμορφωμένες τεχνικές μάθησης στον 21ο αιώνα. Η μάθηση μέσω της ενσωμάτωσης STEM μπορεί επίσης να αυξήσει τη δέσμευση και το ενδιαφέρον των μαθητών κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας στην τάξη (Urban & Favlo, 2016). Ωστόσο, πολλοί φοιτητές δεν ενδιαφέρονται να μάθουν κλάδους STEM, ειδικά όταν συνεχίζουν τις σπουδές τους στο πανεπιστήμιο και επιλέγουν μια καριέρα (Yoder, 2017). Για παράδειγμα, η Αυστραλία και πολλές άλλες βιομηχανικές χώρες απαιτούν εκτεταμένο εργατικό δυναμικό STEM για παγκόσμια οικονομική ευημερία, παραγωγικότητα και ανταγωνιστικότητα. Ωστόσο, το εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό, που πληροί τις απαιτήσεις εργασίας δεν ταιριάζει με τη ζήτηση. Ένας από τους λόγους για αυτό το ζήτημα προσφοράς και ζήτησης είναι η μείωση του ενδιαφέροντος των μαθητών να επιλέξουν το STEM (Perera & McIlveen, 2018). Στην Ισπανία, το ποσοστό των φοιτητών που εισήχθησαν στο πανεπιστήμιο το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 στα μαθηματικά, τη χημεία ή τη βιολογία, αντιπροσώπευαν 38%, 52,67% και 61,82% αντίστοιχα, γεγονός που δείχνει το χαμηλότερο ενδιαφέρον των φοιτητών για το μάθημα των μαθηματικών (MECD, 2017). Επιπλέον, μειώνονται οι εισακτέοι φυσικών επιστημών, με μόλις το 25,62% να εγγράφεται στο πανεπιστήμιο. Όσον αφορά τη μηχανική, οι φοιτήτριες ενδιαφέρονται

λιγότερο για τα ηλεκτρονικά και τον αυτοματισμό, την επιστήμη των υπολογιστών και τα ηλεκτρικά και την ενέργεια, αντιπροσωπεύοντας μόνο το 17%, 11,83% και 17,39% (Sáinz και συν., 2020). Στην Ινδονησία, ένα παρόμοιο ζήτημα προέκυψε με μείωση του ενδιαφέροντος των μαθητών, ειδικά για τα μαθηματικά και τις επιστήμες. Αυτή η μείωση φαίνεται με βάση τη μέση βαθμολογία των μαθητών στην έκθεση του Program for International Student Assessment (PISA) (Shin και συν., 2018). Οι μαθητές της Ινδονησίας κατατάσσονται στην 72η θέση για τα μαθηματικά και στην 70η θέση για τα επιστημονικά μαθήματα από 78 χώρες που συμμετέχουν στο PISA. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της μελέτης Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) δείχνουν ότι οι μαθητές έφτασαν μόνο στην 44η και 47η θέση από τις 49 συμμετέχουσες χώρες (Mullis και συν., 2016). Με βάση τις εκθέσεις PISA και TIMSS, οι μελετητές παρατήρησαν ότι το φύλο είχε επηρεάσει την εκμάθηση των θεμάτων STEM από τους μαθητές.

#### 4.2 Άγχος για την διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Όσο για το άγχος, οι Allen και συν. (1995) το ορίζουν ως ένα δυσάρεστο συναίσθημα φόβου και ανησυχίας, που χαρακτηρίζεται από δυσφορία η οποία προέρχεται από την πρόβλεψη κινδύνου για κάτι άγνωστο ή παράξενο. Θεωρούν ότι το άγχος αναγνωρίζεται ως παθολογία όταν φτάσει σε ένα ακραίο επίπεδο, δυσανάλογο με το ερέθισμα, το οποίο παρεμβαίνει στην ποιότητα ζωής ενός ατόμου, στη συναισθηματική άνεση που μπορεί να αντλήσει από αυτό και στην ικανότητα του ατόμου να λειτουργεί σε καθημερινή βάση. Στα συστήματα ταξινόμησης ασθενειών, η αγχώδης διαταραχή συγκαταλέγεται στις πέντε ασθένειες που σχετίζονται περισσότερο με τους εφήβους. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), είναι επίσης ένα από τα συμπτώματα της κατάθλιψης και η δεύτερη κύρια αιτία θανάτου από αυτοκτονία μεταξύ των νέων ηλικίας 15 έως 19 ετών.

Όπως προαναφέρθηκε το άγχος φαίνεται να αυξάνεται στους νέους και ιδιαίτερα στους φοιτητές με αρνητική επίδραση στην υγεία τους και τις ακαδημαϊκές επιδόσεις τους. Η φοίτηση σε κάποιο πανεπιστήμιο γενικά μπορεί να προκαλέσει άγχος γιατί πολλοί φοιτητές έρχονται αντιμέτωποι με την αύξηση του ακαδημαϊκού φόρτου εργασίας σε συνδυασμό με νέες ευθύνες, με τους Udo και συν. (2004) να αναφέρουν ότι τα μαθήματα φυσικών επιστημών είναι ιδιαίτερα αγχωτικά για ορισμένους φοιτητές. Το

μέγεθος και η δυσκολία της θεματικής ύλης των μαθημάτων αυτών είναι μια κοινή αιτία του άγχους των φοιτητών. Επιπλέον, τα μαθήματα των φυσικών επιστημών θεωρούνται ανταγωνιστικά και πολλές φορές δημιουργούνται «εχθρικά» περιβάλλοντα, τα οποία οδηγούν τους φοιτητές να βιώνουν υψηλότερα επίπεδα άγχους. Επομένως το άγχος είναι ένας από τους κρίσιμους συναισθηματικούς παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση των φοιτητών και έχει σημαντικό ρόλο ώστε να αναπτύξουν θετική στάση απέναντι στα μαθήματα φυσικών επιστημών.

Αν και οι Φυσικές Επιστήμες θεωρούνται από τους σημαντικότερους τομείς που ενισχύουν τη γνωστική ανάπτυξη των μαθητών και αυξάνουν τη δημιουργικότητα, γίνεται αντιληπτό ως ένα δύσκολο μάθημα από πολλούς μαθητές που εμποδίζει την ακαδημαϊκή επιτυχία και ως συνέπεια οδηγεί τους μαθητές να αναπτύξουν αρνητικές στάσεις απέναντι στο μάθημα των Φυσικών Επιστημών. Οι Avcı και Kirbaclar (2017) βρήκαν μια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των «επίπεδων του άγχους της επιστήμης» και διαφόρων συναισθηματικών παραγόντων. Οι συναισθηματικοί παράγοντες περιλαμβάνουν πολλές πτυχές όπως ενδιαφέρον, στάση, κίνητρο, αξία, πεποίθηση, αυτο-αποτελεσματικότητα, άγχος, φόβος και ανησυχία. Το άγχος που αισθάνονται οι μαθητές για τα μαθήματα των φυσικών επιστημών είναι ο λόγος που εμποδίζει το ενδιαφέρον των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες, τις προθέσεις σταδιοδρομίας και τη συμμετοχή τους σε μαθήματα (Udo και συν. 2004). Αντιθέτως μαθητές με χαμηλά επίπεδα άγχους για τις Φυσικές Επιστήμες αποκτούν περισσότερα κίνητρα στις σπουδές τους και ενδιαφέρον να ακολουθήσουν καριέρα στις Φυσικές Επιστήμες.

Από την άλλη πλευρά το άγχος για την διδασκαλία των φυσικών επιστημών είναι ζωτικής σημασίας και επηρεάζει βαθιά τους εκπαιδευτικούς, τους μαθητές και τις μαθησιακές εμπειρίες (Naquila & Israel, 2022). Σύμφωνα με τους Novak και συν. (2022), το άγχος της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών είναι ένα αρνητικό συναίσθημα που αναστέλλει την ικανότητα του εκπαιδευτικού να ξεκινήσει, να προχωρήσει ή να ολοκληρώσει μια εργασία σχετική με την διδασκαλία Φυσικών Επιστημών. Καταρχάς, το επάγγελμα του εκπαιδευτικού είναι ένα επάγγελμα με πολλές προκλήσεις και άγχος το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση και μειωμένη εργασιακή ικανοποίηση. Επίσης το άγχος των εκπαιδευτικών μπορεί να επηρεάσει άμεσα τους μαθητές και τα μαθησιακά αποτελέσματα. Ένας εκπαιδευτικός ο οποίος βιώνει άγχος κατά την διδασκαλία των φυσικών επιστημών μπορεί να δυσκολευτεί να

επικοινωνήσει περίπλοκες επιστημονικές έννοιες κατανοητά και ελκυστικά, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο ενδιαφέρον και κατανόηση των μαθητών. Το άγχος κατά την διδασκαλία επίσης μπορεί να είναι ένας ανασταλτικός παράγοντας για τους εκπαιδευτικούς στο να υιοθετήσουν και να εφαρμόσουν αποτελεσματικές παιδαγωγικές στρατηγικές. Αντιθέτως εκπαιδευτικοί οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση και λιγότερο άγχος είναι πιθανό να είναι πιο ανοιχτοί σε πειραματισμούς και καινοτομίες στη διδασκαλία τους, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ποιότητα της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών (Docherty-Skippen και συν., 2020).

## **ΜΕΡΟΣ Β΄**

### **Ερευνητική Προσέγγιση**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 5.1 Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να εξετάσει κατά πόσο καινοτόμες εκπαιδευτικές πρακτικές, όπως η χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή στη διδασκαλία, μπορούν να βελτιώσουν την κατανόηση εννοιών των Φυσικών Επιστημών και συγκεκριμένα της πυκνότητας. Παράλληλα επιχειρείται η διερεύνηση του βαθμού ενδιαφέροντος των φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για τις Φυσικές Επιστήμες και την τεχνολογία, καθώς και η μέτρηση του άγχους που ενδέχεται να βιώνουν σχετικά με τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Τα ερευνητικά είναι τα εξής:

1. Πώς επιδρά η τρισδιάστατη σχεδίαση στην εννοιολογική κατανόηση των μελλοντικών εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης (εννοιολογική αλλαγή) σχετικά με την έννοια της πυκνότητας;
2. Πώς επιδρά η τρισδιάστατη σχεδίαση στο άγχος των μελλοντικών εκπαιδευτικών κατά την ενασχόλησή τους με τις Φυσικές Επιστήμες;
3. Πώς επιδρά η τρισδιάστατη σχεδίαση στο ενδιαφέρον των φοιτητών σχετικά με τις Φυσικές Επιστήμες και την τεχνολογία;
4. Πώς σχετίζονται το άγχος των φοιτητών στο να διδάξουν Φυσικές Επιστήμες το ενδιαφέρον που εκδηλώνουν για τις Φυσικές Επιστήμες και την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας;
5. Μπορεί να προβλεφθεί το ενδιαφέρον που εκδηλώνουν οι φοιτητές για τις Φυσικές Επιστήμες από το άγχος των φοιτητών στο να διδάξουν Φυσικές Επιστήμες;

### 5.2. Επιλογή πυκνότητας ως έννοια της παρέμβασης

Η επιλογή της έννοιας της πυκνότητας για την εκπαιδευτική παρέμβαση βασίζεται στη σημαντικότητά της ως βασικής έννοιας στις Φυσικές Επιστήμες, η οποία συχνά προκαλεί δυσκολίες στην κατανόηση από τους μαθητές. Η πυκνότητα, ως μια αφηρημένη έννοια που συνδυάζει τη μάζα και τον όγκο, απαιτεί την καλλιέργεια δεξιοτήτων παρατήρησης, υπολογισμού και χωρικής αντίληψης. Η τρισδιάστατη εκτύπωση παρέχει μια μοναδική ευκαιρία να μετατραπεί αυτή η αφηρημένη έννοια σε

μια χειροπιαστή εμπειρία μάθησης, μέσω της δημιουργίας μοντέλων που μπορούν να απεικονίσουν και να ερμηνεύσουν τη σχέση μεταξύ μάζας, όγκου και πυκνότητας με πρακτικό τρόπο. Αυτό επιτρέπει στους φοιτητές να ξεπεράσουν τις δυσκολίες που σχετίζονται με την κατανόηση της έννοιας, προωθώντας μια βαθύτερη και βιωματική μάθηση.

Επιπλέον, η χρήση της πυκνότητας ως κεντρικής έννοιας συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη ενδιαφέροντος και δεξιοτήτων STEM (Φυσικές Επιστήμες, Τεχνολογία, Μηχανική και Μαθηματικά). Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να αναδείξει πώς επιστημονικές έννοιες εφαρμόζονται σε πραγματικά προβλήματα, καθιστώντας την επιστήμη και την τεχνολογία πιο ελκυστικές και προσιτές στους φοιτητές. Επιπλέον, μέσω της διερεύνησης της πυκνότητας, η παρέμβαση ενισχύει την κατανόηση μιας έννοιας που αποτελεί θεμέλιο για άλλα επιστημονικά πεδία, όπως η φυσική και η χημεία. Το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες είναι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί καθιστά την παρέμβαση ακόμη πιο κρίσιμη, καθώς η εμπειρία αυτή μπορεί να μειώσει το άγχος τους για τη διδασκαλία φυσικών επιστημών και να προωθήσει την αποτελεσματικότητα και την αυτοπεποίθησή τους ως εκπαιδευτικοί.

### 5.3. Δείγμα

Το δείγμα της παρούσας έρευνας αποτέλεσαν φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων οι οποίοι παρακολουθούσαν το επιλεγόμενο εργαστηριακό μάθημα «Πειραματική Διδασκαλία Εννοιών των Φυσικών Επιστημών» κατά το χειμερινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2024-2025. Από το σύνολο του δείγματος το οποίο ήταν τριάντα ένας (31) φοιτητές, οι 24 είναι γυναίκες (77,4%) και οι 7 είναι άντρες (22,6%) (Παράρτημα I, Σχήμα 1). Αναφορικά με το έτος φοίτησης των συμμετεχόντων από την ανάλυση του δείγματος προέκυψε ότι 29 φοιτητές (93,5%) φοιτούν στο 3ο έτος, 1 φοιτητής (3,2%) στο 4ο, και 1 φοιτητής (3,2%) σε μεγαλύτερο από το 4ο έτος (Παράρτημα I, Σχήμα 2). Ως προς την κατεύθυνση την οποία ακολούθησαν στο Λύκειο, 7 φοιτητές (22,6%) είχαν επιλέξει θετική κατεύθυνση, 15 φοιτητές (48,8%) την θεωρητική κατεύθυνση, και 9 φοιτητές την Τεχνολογική κατεύθυνση, (29,0%) (Παράρτημα I, Σχήμα 3).

Όσο αφορά το αν το πτυχίο του παιδαγωγικού τμήματος είναι το πρώτο ή όχι πτυχίο των φοιτητών βρέθηκε ότι 3 από τους συμμετέχοντες (9,7%) φοιτούν στο δεύτερο

πτυχίο ενώ 28 (90,3%) στο πρώτο (Παράρτημα I, Σχήμα 4). Για τις παραπάνω ερωτήσεις των δημογραφικών στοιχείων του δείγματος παρουσιάζονται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1: Περιγραφή δημογραφικών στοιχείων**

| Ποιοτικές μεταβλητές |                               |           |             |
|----------------------|-------------------------------|-----------|-------------|
| Περιγραφικά μέτρα    |                               | Συχνότητα | Ποσοστό (%) |
| Μεταβλητές           |                               |           |             |
| Φύλο                 | Αντρας                        | 7         | 22,6        |
|                      | Γυναίκα                       | 24        | 77,4        |
| Έτος Φοίτησης        | 3 <sup>ο</sup>                | 29        | 93,5        |
|                      | 4 <sup>ο</sup>                | 1         | 3,2         |
|                      | Μεγαλύτερο από 4 <sup>ο</sup> | 1         | 3,2         |
| Κατεύθυνση           | Θετική                        | 7         | 22,6        |
|                      | Θεωρητική                     | 15        | 48,8        |
|                      | Τεχνολογική                   | 9         | 29,0        |
| Πτυχίο               | Πρώτο πτυχίο                  | 28        | 90,3        |
|                      | Δεύτερο πτυχίο                | 3         | 9,7         |

#### 5.4. Ερευνητικά εργαλεία

##### 5.4. 1. Ενδιαφέρον των Φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία (STEM)

Το εργαλείο «Ενδιαφέρον των Φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία (STEM)» βασίστηκε στο εργαλείο «Student Interest in Science, Technology and Geospatial Technology (STEM-GEO) Survey» των Bodzin και συν. (2020) και προσαρμόστηκε στις ανάγκες της παρούσας έρευνας.

Το STEM-GEO μεταφράστηκε στα ελληνικά και επαναμεταφράστηκε με στόχο την εννοιολογική ισοδυναμία καθώς και την ισοδυναμία περιεχομένου, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της Διεθνούς Επιτροπής Δοκιμών (ITC) για την προσαρμογή δοκιμών (Hambleton, 2001) και τις προτάσεις των Beaton και συν. (2000). Το εργαλείο περιλαμβάνει 18 ερωτήσεις αυτο-αναφοράς κλειστού τύπου οι οποίες μετρούν δυο παράγοντες ενδιαφέροντος και κατανέμονται σε 3 υποκλίμακες,

- «1. Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές ΕπιστήμεςΕπιστήμες»,
- «2. Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης»,
- «3. Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία» (Πίνακας 2).

Οι Φυσικές Επιστήμες αντιπροσωπεύουν πεδία μελέτης που επικεντρώνονται στην εξερεύνηση του φυσικού κόσμου, περιλαμβάνοντάς επιστήμες περιβάλλοντος, τη βιολογία, τη χημεία, τη φυσική καθώς και εφαρμοσμένους τομείς όπως η μηχανική. Η τεχνολογία αντιπροσωπεύει οποιοσδήποτε ηλεκτρονικές συσκευές ή συστήματα που βασίζονται σε υπολογιστή. Για παράδειγμα μπορεί να περιλαμβάνει υπολογιστές, tablet, κινητά τηλέφωνα, γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας ή το Διαδίκτυο.

| <b>Πίνακας 2: Υποκλίμακες εργαλείου</b>                                                                |                         |            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------|------------|
| <b>Υποκλίμακες</b>                                                                                     | <b>Προτάσεις</b>        | <b>Min</b> | <b>Max</b> |
| <b>1. Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες</b> | 1, 3, 5, 11, 14, 17, 18 | 7          | 35         |
| <b>2. Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης</b>                       | 2, 4, 6, 7, 8           | 5          | 25         |
| <b>3. Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία</b>                                                  | 9, 10, 12, 13, 15, 16   | 6          | 30         |
| <b>Γενικό Ενδιαφέρον</b>                                                                               | όλες                    | 18         | 90         |

Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων δίνονται μέσω μιας κλίμακας τύπου Likert με διαβαθμίσεις από το 1 έως το 5, όπου το 1 ισοδυναμεί με το «Διαφωνώ απόλυτα» και το 5 με το «Συμφωνώ απόλυτα». Όσο μεγαλύτερη είναι η βαθμολογία την οποία

θα σημειώσει ο ερωτώμενος τόσο υψηλότερο είναι το ενδιαφέρον του για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία.

Το συγκεκριμένο εργαλείο είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε το ενδιαφέρον του ατόμου να αξιολογείται με έναν αριθμητικό δείκτη, ο οποίος αποτελεί το άθροισμα των βαθμολογιών που συγκεντρώνει από την κάθε επιμέρους πρόταση καθώς οι βαθμοί του κάθε συμμετέχοντα αθροίζονται προκειμένου να υπολογιστεί η συνολική τιμή του ενδιαφέροντος με ανώτερη τιμή το 90. Όσο υψηλότερο σκορ έχει σημειώσει κάποιος συμμετέχοντας στην έρευνα τόσο περισσότερο θεωρεί ότι τα ενδιαφέροντά του είναι σχετικά με την επιστήμη και την τεχνολογία. Τιμές οι οποίες βρίσκονται κοντά στο κάτω άκρο της κλίμακας δηλώνουν ότι το άτομο δεν εκδηλώνει ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες αντιθέτως τιμές οι οποίες πλησιάζουν το πάνω άκρο περιγράφουν ένα άτομο το οποίο σε ορισμένο βαθμό εκδηλώνει ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία.

#### *5.4.2 Άγχος για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*

Το εργαλείο «Academic Anxiety Scale» (Cassady, 2020), προσαρμόστηκε για τις ανάγκες της έρευνας και δημιουργήθηκε το εργαλείο «Άγχος για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών». Το εργαλείο περιλαμβάνει 20 ερωτήσεις αυτο-αναφοράς κλειστού τύπου οι οποίες μετρούν το άγχος των φοιτητών σχετικά με την διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων δίνονται μέσω μιας κλίμακας τύπου Likert

(1= Καθόλου τυπικό για μένα, 2= Κάπως τυπικό για μένα, 3= Αρκετά τυπικό για μένα, 4= Πολύ τυπικό για μένα)

Το εύρος του σκορ του εργαλείου, σύμφωνα με τους δημιουργούς, (Cassady, και συν., 2020), κυμαίνεται από 10 έως 40 και προκύπτει από το άθροισμα των βαθμολογιών που συγκεντρώνει ο κάθε συμμετέχοντας από την κάθε επιμέρους πρόταση. Τα διαφορετικά «επίπεδα» Άγχους με βάση τη συνολική βαθμολογία προσδιορίζονται ως εξής:

- Καθόλου Άγχος : βαθμολογίες από 10-14
- Ήπιο Άγχος : βαθμολογίες από 15 – 20
- Μέτριο Άγχος : βαθμολογίες από 21 – 29

- Υψηλό Άγχος : βαθμολογίες από 30 – 40

Η διαδικασία προσαρμογής του ερωτηματολογίου στα ελληνικά έγινε όπως παραπάνω.

#### 5.4.3 Ερωτηματολόγιο γνώσεων στην πυκνότητα

Για τις ανάγκες της έρευνας δημιουργήθηκε ένα εργαλείο 13 ερωτήσεων για την μέτρηση των γνώσεων των φοιτητών σχετικά με την έννοια της πυκνότητας. Η δημιουργία του εργαλείου βασίστηκε στην βιβλιογραφία σχετικά με την κατανόηση σε θέματα πυκνότητας και σε εργαλείο το οποίο ανιχνεύει εναλλακτικές ιδέες σχετικά με την πυκνότητά όπως του Hashweh (2016). Οι ερωτήσεις του εργαλείου ήταν ανοιχτού και κλειστού τύπου. Η βαθμολογία των συμμετεχόντων προέκυψε από τις σωστές και λανθασμένες απαντήσεις. Συγκεκριμένα για κάθε σωστή απάντηση οι συμμετέχοντες βαθμολογούνταν με 1 και για κάθε λανθασμένη με 0. Το σκορ του εργαλείου γνώσεων κυμαίνεται από 0 έως 10 και προκύπτει από αναγωγή στα 10 του αθροίσματος των βαθμολογιών που συγκεντρώνει ο κάθε συμμετέχοντας από την κάθε επιμέρους ερώτηση.

#### 5.5. Έλεγχος αξιοπιστίας εργαλείων

Εφαρμόστηκε ανάλυση αξιοπιστίας ( $\alpha$  του Cronbach) για να εξεταστεί η εσωτερική συνοχή των εργαλείων του ενδιαφέροντος και του άγχους και να διαπιστωθεί ο βαθμός στον μετρούν σταθερά τις παραπάνω έννοιες. Πρόθεση μας είναι να διαπιστωθεί πόσο σταθερές θα παρέμεναν οι απαντήσεις των φοιτητών εάν μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων δεν μεσολαβούσε κανένας παράγοντας που να επηρεάζει τις απαντήσεις τους.

#### 5.6. Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων

Για τη διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων πραγματοποιήθηκε εκπαιδευτική παρέμβαση κατά το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο έως και τον Δεκέμβριο του 2024. Συγκεκριμένα η έρευνα διεξήχθη με τη χρήση ενός ερωτηματολογίου το οποίο περιελάμβανε σαράντα πέντε (45) ερωτήσεις, τις οποίες κλήθηκαν να απαντήσουν οι

φοιτητές. Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από 4 ενότητες οι οποίες αφορούν τα στοιχεία των φοιτητών (φύλο, έτος φοίτησης, πτυχίο, και κατεύθυνση στο λύκειο), και τα τρία εργαλεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Επιλέχτηκε ερωτηματολόγιο ατομικής συμπλήρωσης το οποίο δημιουργήθηκε μέσω google forms και το οποίο οι φοιτητές συμπλήρωσαν ηλεκτρονικά.

### 5.7. Διδακτική Παρέμβαση

Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διδακτικού σεναρίου βασισμένου στο διερευνητικό μοντέλο μάθησης, εστιάζοντας στη δομημένη διερεύνηση. Το διερευνητικό μοντέλο στην εκπαίδευση επικεντρώνεται στην ενίσχυση της κριτικής σκέψης, της ενεργούς συμμετοχής των μαθητών και της αυτονομίας στη μάθηση. Βασίζεται στην ιδέα ότι οι μαθητές αποκτούν γνώσεις και δεξιότητες μέσα από τη διαδικασία της εξερεύνησης και του πειραματισμού, με τον εκπαιδευτικό να λειτουργεί ως διευκολυντής και όχι απλός μεταδότης γνώσεων (Hmelo-Silver και συν., 2007). Μέσω της διερεύνησης, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εντοπίσουν και να επιλύσουν πραγματικά προβλήματα, αναπτύσσοντας δεξιότητες όπως η αναλυτική σκέψη και η συνεργασία. Αυτή η προσέγγιση έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη βελτίωση της κατανόησης εννοιών και στη δημιουργία θετικών στάσεων απέναντι στη μάθηση (Kirschner και συν., 2006). Η δομημένη διερεύνηση αποτελεί μια πιο καθοδηγούμενη μορφή του διερευνητικού μοντέλου, όπου ο εκπαιδευτικός παρέχει σαφή πλαίσια, οδηγίες και υποστηρικτικό υλικό. Στόχος της δομημένης διερεύνησης είναι να βοηθήσει τους μαθητές να πλοηγηθούν σε πολύπλοκα προβλήματα, χωρίς να αισθάνονται υπερβολική αβεβαιότητα, διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο της μαθησιακής διαδικασίας (Minner και συν., 2010) (Πίνακας 3).

**Πίνακας 3: Φάσεις Διδακτικού Μοντέλου**

| <b>Φάση</b>                                           | <b>Ενέργειες</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Στόχοι</b>                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Φάση 1: Διερεύνηση και Καθορισμός Προβλήματος</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Παρουσίαση διαφανειών με εικόνες για μάζα, όγκο και πυκνότητα.</li> <li>- Απαντήσεις σε ατομικά φύλλα εργασίας.</li> <li>- Συζήτηση και συλλογικά συμπεράσματα στην ολομέλεια.</li> </ul>                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ενίσχυση παρατηρητικότητας και κατανόησης βασικών εννοιών.</li> <li>- Δημιουργία πλαισίου προβληματισμού για περαιτέρω εξερεύνηση.</li> </ul>                                                              |
| <b>Φάση 2: Υπόθεση και Σχεδιασμός Εξερεύνησης</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Χωρισμός φοιτητών σε ομάδες 4-5 ατόμων.</li> <li>- Διατύπωση υποθέσεων για αντικείμενα με διαφορετικές ιδιότητες πυκνότητας.</li> <li>- Σχεδιασμός αντικειμένων στο Tinkercad.</li> <li>- Εκτύπωση αντικειμένων με τρισδιάστατο εκτυπωτή.</li> </ul>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανάπτυξη δεξιοτήτων διατύπωσης υποθέσεων και χρήσης τεχνολογικών εργαλείων.</li> <li>- Δημιουργία συνδέσεων μεταξύ θεωρητικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής.</li> </ul>                                   |
| <b>Φάση 3: Πειραματισμός και Επαλήθευση Υποθέσεων</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Μέτρηση όγκου αντικειμένων με τη μέθοδο βύθισης σε νερό.</li> <li>- Μέτρηση μάζας με ηλεκτρονική ζυγαριά.</li> <li>- Καταγραφή δεδομένων και υπολογισμός πυκνότητας.</li> <li>- Παρουσίαση δεδομένων κάθε ομάδας.</li> <li>- Συζήτηση για επαλήθευση ή μη των υποθέσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων στην ολομέλεια.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανάπτυξη δεξιοτήτων συλλογής και ανάλυσης δεδομένων.</li> <li>- Καλλιέργεια κριτικής σκέψης και επιστημονικής τεκμηρίωσης.</li> <li>- Ενίσχυση κατανόησης πυκνότητας μέσω πρακτικής εμπειρίας.</li> </ul>  |
| <b>Φάση 4: Συμπεράσματα και Ανατροφοδότηση</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Συζήτηση για σχέσεις μεταξύ μάζας, όγκου και πυκνότητας.</li> <li>- Αναγνώριση της αξίας της τεχνολογίας στη μάθηση αφηρημένων εννοιών.</li> <li>- Επισήμανση σημασίας ακρίβειας στις μετρήσεις και συνεργασίας.</li> </ul>                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ενίσχυση κατανόησης της πυκνότητας και ακρίβειας στη μέτρηση.</li> <li>- Ανάπτυξη δεξιοτήτων υποθέσεων και πειραματισμού.</li> <li>- Καλλιέργεια ομαδικής συνεργασίας και επιστημονικής σκέψης.</li> </ul> |

Η συνολική διάρκειά της ανήλθε σε έξι (6) διδακτικές ώρες, οι οποίες κατανεμήθηκαν σε τρεις (3) συνεδρίες, διάρκειας δύο (2) διδακτικών ωρών έκαστη.

#### *5.7.1. 1η Συνεδρία*

Κατά τη έναρξη της πρώτης συνεδρίας, οι φοιτητές κλήθηκαν να συμπληρώσουν το αρχικό ερωτηματολόγιο (pre-test) για την καταγραφή των απόψεων και των γνώσεων τους.

Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν στους εκπαιδευόμενους οι βασικές αρχές της τρισδιάστατης εκτύπωσης, περιλαμβάνοντας την περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής μέσω προσθήκης υλικού στρώση-στρώση, καθώς και τα υλικά και λογισμικά που χρησιμοποιούνται, όπως το Tinkercad. Οι φοιτητές εξοικειώθηκαν με την έννοια του ψηφιακού σχεδίου και την προετοιμασία αρχείων STL ή OBJ, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των εκτυπωτών. Ακολούθως, αναλύθηκαν οι ευρείες εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης, με ιδιαίτερη έμφαση στην εκπαιδευτική χρήση της, όπως η κατασκευή μοντέλων για τις Φυσικές Επιστήμες, τη μηχανική, τα μαθηματικά και την ειδική αγωγή.

Σε επομενο στάδιο οι συμμετέχοντες εισήχθησαν στις βασικές αρχές του τρισδιάστατου σχεδιασμού (πίνακας 4) χρησιμοποιώντας το Tinkercad. Η διδακτική προσέγγιση περιελάμβανε τρεις φάσεις: εισαγωγή, πρακτική εφαρμογή και παρουσίαση.

**Πίνακας 4: Βασικές Αρχές Τρισδιάστατου Σχεδιασμού με το Tinkercad**

| <b>Αρχή</b>                              | <b>Περιγραφή</b>                                                                                 | <b>Παραδείγματα/Σημειώσεις</b>                                            |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Κατανόηση Περιβάλλοντος Εργασίας</b>  | Εξοικείωση με τον χώρο εργασίας, τα εργαλεία πλοήγησης και τα βασικά γεωμετρικά σχήματα.         | Χρήση πλέγματος, περιστροφή, ζουμ.                                        |
| <b>Σύνθεση και Τροποποίηση Μορφών</b>    | Τοποθέτηση, κλιμάκωση, περιστροφή και συνδυασμός σχημάτων.                                       | Χρήση Group για ένωση σχημάτων, Hole για δημιουργία οπών.                 |
| <b>Ακρίβεια και Λεπτομέρεια</b>          | Εργασία με πλέγμα, αξονομετρία και συγκεκριμένες διαστάσεις για ακριβή σχεδίαση.                 | Ρύθμιση βημάτων μετακίνησης, χρήση μονάδων μέτρησης.                      |
| <b>Χρώματα και Υλικά</b>                 | Εφαρμογή χρωμάτων για την κατανόηση της δομής και την αισθητική των αντικειμένων.                | Τα χρώματα δεν επηρεάζουν την εκτύπωση, αλλά διευκολύνουν την απεικόνιση. |
| <b>Τρισδιάστατη Σκέψη και Σχεδιασμός</b> | Ανάλυση του αντικειμένου σε τμήματα και δημιουργία με βάση τις αναλογίες και τη λειτουργικότητα. | Διαχωρισμός σε απλά γεωμετρικά μέρη, έμφαση στο πάχος τοιχωμάτων.         |
| <b>Εξαγωγή για 3D Εκτύπωση</b>           | Έλεγχος του σχεδίου και εξαγωγή σε μορφή STL ή OBJ για συμβατότητα με τρισδιάστατους εκτυπωτές.  | Επαλήθευση τοιχωμάτων, αποφυγή αιχμηρών γωνιών.                           |
| <b>Βέλτιστες Πρακτικές Εκτύπωσης</b>     | Διασφάλιση ότι το σχέδιο είναι λειτουργικό και συμβατό με τον χώρο εκτύπωσης του εκτυπωτή.       | Προσαρμογή στον όγκο εκτύπωσης, αποφυγή ασυνεχειών.                       |

#### Φάση 1: Εισαγωγή και Θεωρία

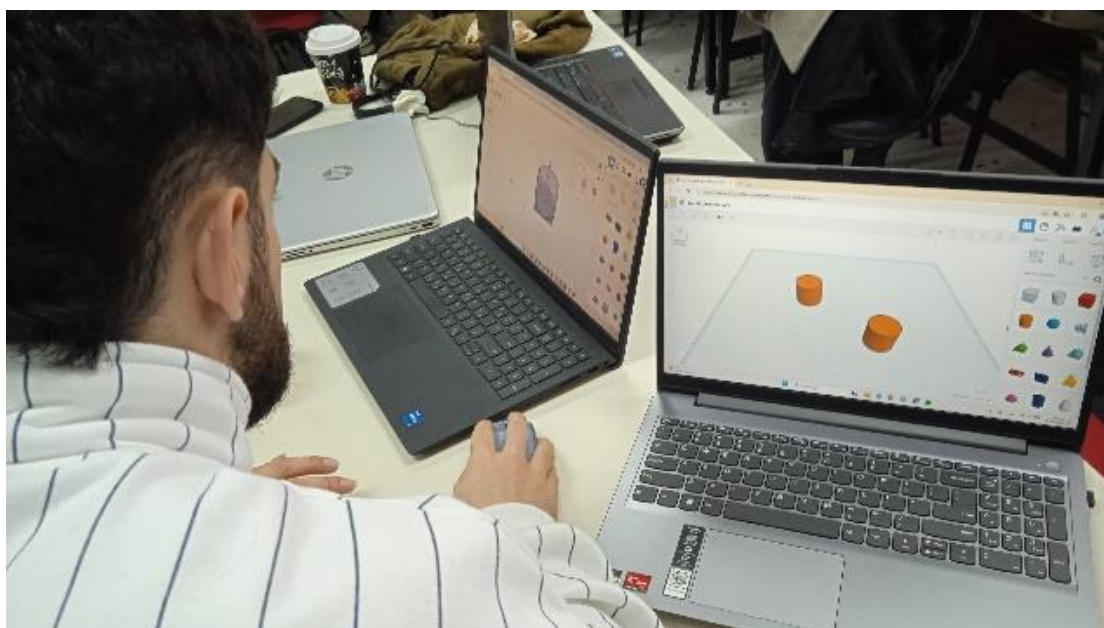
- Οι φοιτητές παρακολούθησαν μια σύντομη παρουσίαση σχετικά με το περιβάλλον του Tinkercad, τις λειτουργίες του και τις δυνατότητές του.
- Στη συνέχεια, εξηγήθηκαν οι βασικές αρχές τρισδιάστατου σχεδιασμού, όπως η χρήση γεωμετρικών σχημάτων, ο συνδυασμός και η τροποποίησή τους, καθώς και η σημασία της ακρίβειας και του πλέγματος στον σχεδιασμό.
- Έγινε πρακτική επίδειξη βασικών εργαλείων, όπως η ομαδοποίηση (group), η λειτουργία δημιουργίας οπών (hole), η κλιμάκωση και η περιστροφή.

## Φάση 2: Πρακτική Εφαρμογή

- Οι φοιτητές κλήθηκαν να σχεδιάσουν ένα απλό αντικείμενο, όπως ένα κουτί με οπή στη μέση ή έναν κύβο με σκαλισμένες γεωμετρικές μορφές. Στόχος ήταν να εξασκηθούν στη χρήση βασικών λειτουργιών (εικ 5).
- Στη συνέχεια, κάθε φοιτητής έλαβε έναν διαφορετικό σχεδιαστικό στόχο, όπως τη δημιουργία ενός αντικειμένου που συνδυάζει τουλάχιστον τρία διαφορετικά σχήματα ή την κατασκευή ενός μοντέλου με συγκεκριμένες διαστάσεις.
- Οι φοιτητές εργάστηκαν αυτόνομα με καθοδήγηση από τον εκπαιδευτικό, όπου χρειάστηκε.

## Φάση 3: Παρουσίαση και Ανατροφοδότηση

- Στο τέλος της προσέγγισης, κάθε φοιτητής παρουσίασε το σχέδιό του, εξηγώντας τη διαδικασία που ακολούθησε και τις επιλογές του.
- Έγινε ανατροφοδότηση από τον εκπαιδευτικό σχετικά με τον σχεδιασμό, την ακρίβεια και την αισθητική των αντικειμένων.
- Συζητήθηκαν πιθανές βελτιώσεις και προτάσεις για την εκτύπωση των σχεδίων με 3D εκτυπωτή.



Εικόνα 5. Σχεδιασμός αντικειμένων

### 5.7.2. 2η Συνεδρία

Κατά την δεύτερη συνεδρία ξεκίνησε η υλοποίηση του διδακτικού σεναρίου. Το διδακτικό σενάριο βασίζεται στο διερευνητικό μοντέλο και την δομημένη διερεύνηση. Αποτελείται από τέσσερις φάσεις εκ των οποίων οι δύο πρώτες υλοποιήθηκαν κατά την παρούσα συνέδρια. Πιο αναλυτικά:

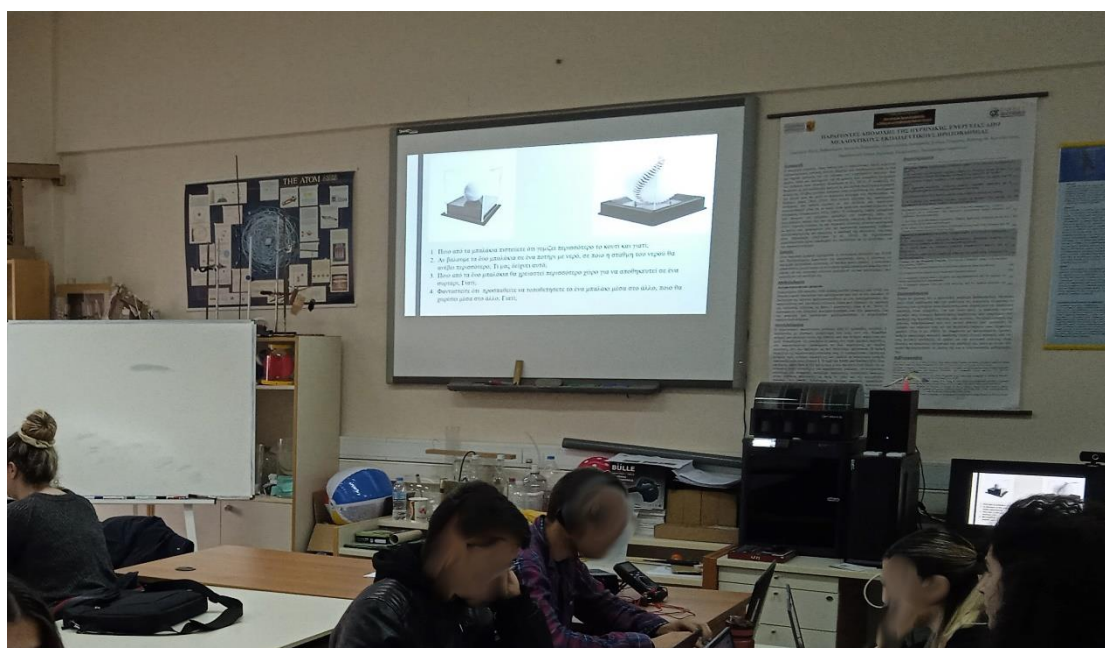
#### Φάση 1: Διερεύνηση και Καθορισμός Προβλήματος

Ενέργειες:

- Παρουσιάστηκαν στους φοιτητές διαφάνειες με εικόνες σχετικές με τις έννοιες της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας (εικ 6).
- Οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν ατομικά σε φύλλα εργασίας που περιείχαν ερωτήσεις σχετικά με τις έννοιες των παραπάνω εικόνων.
- Οι απαντήσεις συζητήθηκαν στην ολομέλεια, οδηγώντας σε συλλογικά συμπεράσματα για τη σχέση της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας.

Στόχοι:

- Ενίσχυση της παρατηρητικότητας και της κατανόησης βασικών εννοιών.
- Δημιουργία πλαισίου προβληματισμού για περαιτέρω εξερεύνηση.



Εικόνα 6. Παρουσίαση Εικόνων σχετικά με τις έννοιες της μάζας, του όγκου και της πυκνότητας.

## Φάση 2: Υπόθεση και Σχεδιασμός Εξερεύνησης

### Ενέργειες:

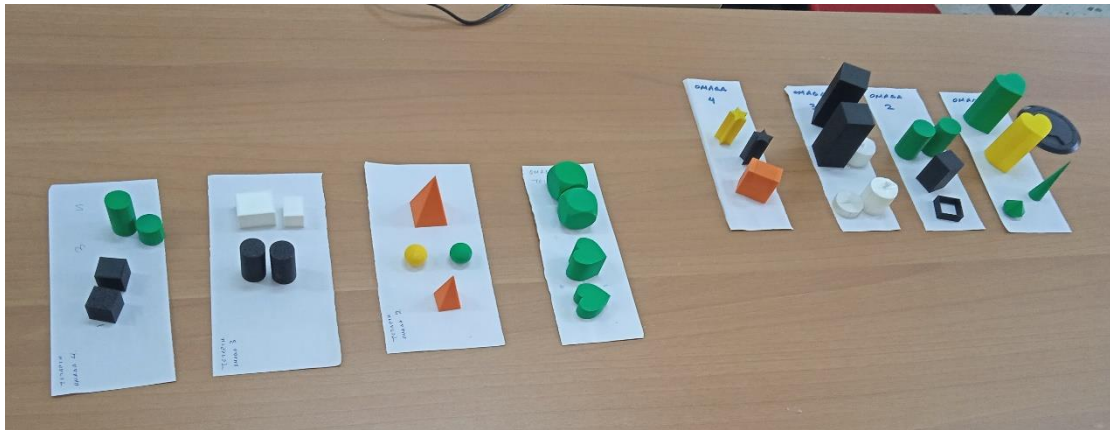
- Οι φοιτητές χωρίστηκαν σε ομάδες των 4-5 ατόμων και με βάση τα συμπεράσματα που προήλθαν από την ολοκλήρωση της 1<sup>ης</sup> Φάσης για τη σχέση της πυκνότητας με την μάζα και τον όγκο, διατύπωσαν υποθέσεις σχετικά με τον σχεδιασμό αντικειμένων που θα είχαν:
  - Διαφορετική μάζα και όγκο αλλά ίδια πυκνότητα, ή
  - Ίδιο όγκο αλλά διαφορετική πυκνότητα.
- Χρησιμοποίησαν το λογισμικό Tinkercad για να σχεδιάσουν αντικείμενα διαφορετικών σχημάτων (εικ 7).
- Τα αντικείμενα εκτυπώθηκαν με τρισδιάστατο εκτυπωτή (εικ 8).

### Στόχοι:

- Ανάπτυξη δεξιοτήτων στη διατύπωση υποθέσεων και τη χρήση εργαλείων τεχνολογίας.
- Δημιουργία συνδέσεων μεταξύ θεωρητικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής.



Εικόνα 7. Σχεδιασμός αντικειμένων με βάση τις υποθέσεις



Εικόνα 8. Εκτυπωμένα αντικείμενα με χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή

### 5.7.3. 3<sup>η</sup> Συνεδρία

Κατά την τρίτη και τελευταία συνεδρία υλοποιήθηκαν η τρίτη και η τέταρτη φάση του διδακτικού σεναρίου οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω. Τέλος αφού ολοκληρώθηκε η διδακτική παρέμβαση οι ίδιοι φοιτητές συμπλήρωσαν εκ νέου το ίδιο ερωτηματολόγιο έτσι ώστε να καταγραφούν οι τελικές τους απόψεις και γνώσεις (post-test).

#### Φάση 3: Πειραματισμός και Επαλήθευση Υποθέσεων

##### Ενέργειες:

- Κάθε ομάδα υπολόγισε πειραματικά την πυκνότητα
  - ο Με την μέθοδο της βύθισης σε νερό και με την χρήση ογκομετρικών κυλίνδρων και δοχείων υπολόγισε των όγκο κάθε αντικειμένου (εικ 9)
  - ο Για την μέτρηση της μάζας κάθε αντικειμένου χρησιμοποίησε ηλεκτρονική ζυγαριά ακρίβειας(εικ 10)
  - ο Τα δεδομένα των μετρήσεων και οι υπολογισμοί της πυκνότητας καταγράφηκαν ξεχωριστά για κάθε αντικείμενο.
- Μετά την ολοκλήρωση των πειραμάτων, οι φοιτητές κλήθηκαν να συζητήσουν στην ολομέλεια τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς της πυκνότητας των αντικειμένων.

- Κάθε ομάδα παρουσίασε τις αρχικές της υποθέσεις, τη μεθοδολογία που ακολούθησε και τα δεδομένα που συνέλεξε. Ακολούθησε αξιολόγηση σχετικά με την επαλήθευση ή μη των υποθέσεων.
- Στη συζήτηση συμμετείχαν όλοι οι φοιτητές, ανταλλάσσοντας απόψεις για τις σχέσεις μεταξύ μάζας, όγκου και πυκνότητας, και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν μέσα από τη διαδικασία.

Στόχοι:

- Ανάπτυξη δεξιοτήτων στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων.
- Καλλιέργεια κριτικής σκέψης μέσω της συζήτησης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων.
- Να ενισχυθεί η κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας μέσα από την πρακτική εμπειρία και την ανάλυση δεδομένων.
- Να καλλιεργηθεί η ικανότητα συσχέτισης πειραματικών αποτελεσμάτων με θεωρητικές έννοιες.
- Να προαχθεί η επιστημονική σκέψη μέσω της τεκμηρίωσης υποθέσεων και συμπερασμάτων.

Φάση 4: Συμπεράσματα και Ανατροφοδότηση για την Πυκνότητα

Συμπεράσματα:

- Οι φοιτητές συνειδητοποίησαν ότι η πυκνότητα αποτελεί μια σταθερή φυσική ιδιότητα που συνδέεται άμεσα με τις σχέσεις μεταξύ μάζας και όγκου.
- Ανέπτυξαν την ικανότητα να διατυπώνουν υποθέσεις, να σχεδιάζουν πειράματα και να ελέγχουν την εγκυρότητα των συμπερασμάτων τους μέσω πρακτικής εφαρμογής.
- Αναγνώρισαν ότι η χρήση τεχνολογίας, όπως το λογισμικό Tinkercad και ο τρισδιάστατος εκτυπωτής, μπορεί να διευκολύνει τη μάθηση αφηρημένων εννοιών μέσω απτών και πρακτικών εμπειριών.
- Ενισχύθηκε η συλλογική κατανόηση της σημασίας της ακρίβειας στις μετρήσεις και της ανάλυσης δεδομένων για την εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων.



Εικόνα 9 Πειραματική μέτρηση όγκου



Εικόνα 10 Πειραματική μέτρηση μάζας

## 5.8. Στατιστική Επεξεργασία

Μετά τη συμπλήρωση και τη συλλογή των ερωτηματολογίων χρησιμοποιήθηκε για τη Στατιστική Επεξεργασία των δεδομένων της έρευνας το στατιστικό πακέτο IBM SPSS (Statistical Package for Social Sciences – Στατιστικό πακέτο εφαρμογών για τις Κοινωνικές Επιστήμες) version 22.0. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας για κάθε κατανομή του δείγματος με το στατιστικό τεστ Shapiro-Wilk και σε κάθε περίπτωση επιλέχθηκε το κατάλληλο εργαλείο ελέγχου. Η σύγκριση του σκορ γνώσεων πριν και μετά την παρέμβαση, πραγματοποιήθηκε με έλεγχο t για ζευγαρωτά δείγματα (paired samples t test) για τα δεδομένα που προήλθαν από κανονική κατανομή. Για τη διερεύνηση της διαφοράς δυο μέσων όρων εξαρτημένων δειγμάτων ως προς μια εξαρτημένη μεταβλητή εφαρμόστηκε μη παραμετρικός έλεγχος Wilcoxon signed rank (μη κανονική κατανομή). Ο έλεγχος αυτός χρησιμοποιήθηκε για τις συγκρίσεις των βαθμολογιών των εργαλείων του άγχους και τους ενδιαφέροντος. Για τη διερεύνηση των συσχετίσεων των διεξήχθησαν έλεγχοι με το δείκτη συσχέτισης Spearman.

Το επίπεδο σημαντικότητας p του ελέγχου ορίστηκε στις τιμές 0,05. Οι τιμές του στατιστικού ελέγχου οι οποίες αντιστοιχούν στο επίπεδο σημαντικότητας p είναι κρίσιμες τιμές και προσδιορίζουν την ύπαρξη διαφοράς ή όχι μεταξύ των μεταβλητών. Στην παρούσα μελέτη όσο μικρότερη είναι η κρίσιμη τιμή τόσο πιο στατιστικά σημαντική διαφορά υποδεικνύεται. Η ύπαρξη συνοχής μεταξύ των κλιμάκων υπολογίστηκε με τον δείκτη Cronbach  $\alpha$ , ο οποίος αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους δείκτες αξιοπιστίας. Ο δείκτης Cronbach  $\alpha$ , μπορεί να κυμαίνεται από το μείον άπειρο έως το 1 (μόνο οι θετικές τιμές είναι σημαντικές). Κάποιες τιμές αξιοπιστίας είναι οι ακόλουθες:

- i. < 0.6 η κλίμακα είναι αναξιόπιστη,
- ii. 0.6 ελάχιστο αποδεκτό όριο,
- iii. 0.7 επαρκές,
- iv. 0.8 καλύτερο,
- v. 0.9 πολλή υψηλή αξιοπιστία

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 6.1 Έλεγχοι κανονικότητας και Cronbach

Για να ελέγξουμε αν οι κατανομές των μεταβλητών της έρευνας είναι συμβατές με την κανονική εφαρμόστηκε το test Sapiro-Wilk για τις παρατηρήσεις πριν και μετά την παρέμβαση (πίνακας 5). Από το δεδομένα του πίνακα διαπιστώνεται ότι για το pre test την κανονική κατανομή ακολουθούν οι μεταβλητές «Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες», «Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία», «Γενικό Ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες» και το «Σκορ Γνώσεων». Στο post test κανονική κατανομή ακολουθούν οι μεταβλητές «Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες», «Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία» και «Γενικό Ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες».

**Πίνακας 5: Έλεγχοι Κανονικότητας Sapiro-Wilk**

|                                                                                              | Pre-test   |             | Post- test |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                                                                                              | Statistics | Sig.        | Statistics | Sig.        |
| Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες | ,986       | <b>,948</b> | ,960       | <b>,284</b> |
| Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης                       | ,925       | ,032        | ,930       | ,043        |
| Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία                                                  | ,975       | <b>,679</b> | ,948       | <b>,140</b> |
| Γενικό Ενδιαφέρον                                                                            | ,981       | <b>,843</b> | ,965       | <b>,383</b> |
| Γενικό Άγχος                                                                                 | ,862       | ,001        | ,889       | ,004        |
| Σκορ Γνώσεων                                                                                 | ,953       | <b>,194</b> | ,896       | ,006        |

Για την ύπαρξη συνοχής των εργαλείων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Cronbach  $\alpha$  (πίνακας 6). Η ανάλυση έδειξε ότι το εργαλείο «Ενδιαφέρον των Φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία (STEM)» είχε επίπεδο αξιοπιστίας ( $\alpha=0,940$ ), το οποίο είναι ιδιαίτερα υψηλό και εκφράζει την υψηλή εσωτερική συνάφεια μεταξύ των μεταβλητών. Μελετήθηκε επίσης η τυχαιότητα των απαντήσεων των συμμετεχόντων του εργαλείου «Άγχος για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών» και παρατηρήθηκε ότι το Cronbach's  $\alpha$  έχει την τιμή 0,942. Για να χαρακτηρίσουμε ένα ερωτηματολόγιο αξιόπιστο θα πρέπει ο δείκτης αξιοπιστίας Cronbach's  $\alpha$  να είναι μεγαλύτερος του 0,70 οπότε το επίπεδο αυτό θεωρείται αποδεκτό. Η ανάλυση του Cronbach's  $\alpha$  για τις επιμέρους κλίμακες του ερωτηματολογίου μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η έρευνα που διενεργήσαμε είναι αξιόπιστη. Οι φοιτητές απάντησαν με συνέπεια στο ερωτηματολόγιο. Τέλος για το εργαλείο των γνώσεων ο δείκτης Cronbach's  $\alpha$  έχει την τιμή 0,636 η οποία αν και χαμηλή είναι αποδεκτή (Faremi, 2016; Stylos και συν., 2021).

**Πίνακας 6: Ανάλυση αξιοπιστίας**

| Εργαλεία                                                                    | Cronbach's Alpha | N of Items |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|
| Ενδιαφέρον των Φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία (STEM) | 0,940            | 18         |
| Άγχος για την διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών                              | 0,942            | 10         |
| Κατανόηση πυκνότητας                                                        | 0,636            | 13         |

## 6.2. Ανάλυση Ερευνητικών ερωτημάτων

Προκειμένου να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των βαθμολογιών στο ερωτηματολόγιο για την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας, του ενδιαφέροντος για τις Φυσικές Επιστήμες και στο εργαλείο του άγχους για την διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

### *Ερευνητικό ερώτημα 1*

*«Πώς επιδρά η τρισδιάστατη σχεδίαση στην εννοιολογική κατανόηση των μελλοντικών εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης (εννοιολογική αλλαγή) σχετικά με την έννοια της πυκνότητας;»*

Στην συνέχεια (Πίνακας 7) παρουσιάζονται τα στατιστικά αποτελέσματα όπου καταγράφεται το επί τοις % ποσοστό κάθε ερώτησης που απαντήθηκε σωστά συνολικά από τους φοιτητές πριν και μετά την παρέμβαση. Από τον πίνακα παρατηρείται ότι υπήρξε βελτίωση σε 11 από τις 13 ερωτήσεις του ερωτηματολογίου ενώ σε δυο από αυτές υπήρξε αρνητική μεταβολή στο ποσοστό δηλαδή οι φοιτητές απάντησαν περισσότεροι σωστά πριν την παρέμβαση. Παρά τις γενικές βελτιώσεις, η αρνητική μεταβολή, ενδεχομένως υποδηλώνει ανάγκη για βελτίωση των διδακτικών προσεγγίσεων σε συγκεκριμένα θέματα. Οι ερωτήσεις αυτές ήταν οι εξής:

### **Ερώτηση 5**

*Δύο μπάλες η μια μεγαλύτερη σε όγκο από την άλλη βρίσκονται στα άκρα ενός ζυγού που ισορροπεί όπως φαίνεται στο σχήμα.*

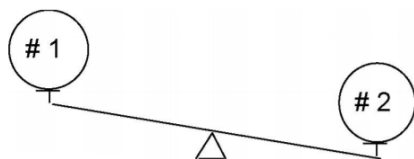


*Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;*

- α) Η μπάλα #1 έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την μπάλα #2*
- β) Η μπάλα #2 έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την μπάλα #1*
- γ) Και οι δύο μπάλες έχουν την ίδια πυκνότητα*
- δ) Δεν ξέρω ή δεν μπορώ να απαντήσω με τα υπάρχοντα δεδομένα*

### Ερώτηση 7

Δύο μπάλες **ίδιου όγκου** βρίσκονται στα άκρα ενός ζυγού όπως φαίνεται στο σχήμα.



Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;

- α) Η μπάλα #1 έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την μπάλα #2
- β) Η μπάλα #2 έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την μπάλα #1
- γ) Και οι δύο μπάλες έχουν την ίδια πυκνότητα
- δ) Δεν ξέρω ή δεν μπορώ να απαντήσω με τα υπάρχοντα δεδομένα

Αξιίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη βελτίωση στο ποσοστό της σωστά απαντημένης ερώτησης (41,9%) παρατηρήθηκε στην ερώτηση «Περιγράψτε σύντομα την έννοια της πυκνότητας. Τι πιστεύετε ότι είναι η πυκνότητα;». Το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι φοιτητές βελτίωσαν την εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας μέσα από την εμπλοκή τους με τον τρισδιάστατο εκτυπωτή.

**Πίνακας 7: Ποσοστό(%) Σωστά απαντημένης ερώτησης Πριν και Μετά την Παρέμβαση**

| Ερώτηση | Ποσοστό(%) Σωστά απαντημένης ερώτησης (Πριν) | Ποσοστό(%) Σωστά απαντημένης ερώτησης (Μετά) | Διαφορά Ποσοστών |
|---------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|
| 1       | 48,4                                         | 90,3                                         | 41,9             |
| 2       | 45,2                                         | 58,1                                         | 12,9             |
| 3       | 51,6                                         | 64,5                                         | 12,9             |
| 4       | 41,9                                         | 80,6                                         | 38,7             |
| 5       | 48,4                                         | 41,9                                         | -6,5             |
| 6       | 83,9                                         | 93,5                                         | 9,6              |
| 7       | 83,9                                         | 80,6                                         | -3,3             |
| 8       | 41,9                                         | 74,2                                         | 32,3             |
| 9       | 90,3                                         | 96,8                                         | 6,5              |
| 10      | 71,0                                         | 90,3                                         | 19,3             |
| 11      | 87,1                                         | 93,5                                         | 6,4              |
| 12      | 80,6                                         | 83,9                                         | 3,3              |
| 13      | 54,8                                         | 83,9                                         | 29,1             |

Στη συνέχεια ερευνήθηκε εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο σκορ που σημείωσαν οι συμμετέχοντες στο τεστ γνώσεων πριν την παρέμβαση (pre-test) και μετά την παρέμβαση (post-test). Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε έλεγχος paired variables t test. Παρατηρείται αρχικά ότι ο μέσος όρος του τεστ όσο αφορά τις γνώσεις έχει αυξηθεί μετά την παρέμβαση ( $M_{pre-test}=6,0787$ ,  $M_{post-test}=7,9394$ ). Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον πίνακα 8. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο σκορ των γνώσεων των φοιτητών ( $t=-7,978$ ,  $p=0,000<0,005$ ). Η διαπίστωση ότι ο μέσος όρος του σκορ των συμμετεχόντων στο τεστ γνώσεων αυξήθηκε οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η παρέμβαση στη οποία αξιοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής στην εκμάθηση της εννοίας τη πυκνότητας είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη κατανόηση της.

**Πίνακας 8: Σύγκριση του σκορ γνώσεων πριν και μετά την παρέμβαση. Αποτελέσματα ελέγχου paired t test**

|           | Mean   | t      | Asymp. Sig. (2-tailed) |
|-----------|--------|--------|------------------------|
| Pre-test  | 6,0787 | -7,978 | ,000                   |
| Post-test | 7,9394 |        |                        |

#### *Ερευνητικό ερώτημα 2*

*«Πώς επιδρά η τρισδιάστατη σχεδίαση στο άγχος των μελλοντικών εκπαιδευτικών κατά την ενασχόλησή τους με τις Φυσικές Επιστήμες»;*

Για το άγχος των μελλοντικών εκπαιδευτικών στο να διδάξουν ενότητες σχετικές με τις Φυσικές Επιστήμες οι τιμές κυμαίνονται από 10 ως 40. Τα αποτελέσματα των βαθμολογιών των φοιτητών πριν και μετά την παρέμβαση παρουσιάζονται στον πίνακα 9. Συγκεκριμένα οι φοιτητές στην κλίμακα του άγχους σημείωσαν γενικό μέσο όρο  $Mean_{pre}=21,65$ ,  $Mean_{post}=17,45$ . Όπως προκύπτει από την ανάλυση του εργαλείου ο μέσος όρος του άγχους των φοιτητών πριν από την παρέμβαση βρίσκεται σε μέτριο επίπεδο, ενώ μετά την παρέμβαση μειώθηκε η βαθμολογία του άγχους με αποτέλεσμα οι φοιτητές να βιώνουν ήπιο άγχος ως προς την διδασκαλία των φυσικών επιστήμων.

**Πίνακας 9: Περιγραφή Άγχους για τις Φυσικές Επιστήμες (pre-test και post-test)**

| Μεταβλητές            | Άγχος (pre-test) | Άγχος (post-test) |
|-----------------------|------------------|-------------------|
| Περιγραφικά μέτρα     |                  |                   |
| <b>Minimum</b>        | 10               | 10                |
| <b>Maximum</b>        | 39               | 36                |
| <b>Mean</b>           | 21,65            | 17,45             |
| <b>Std. Deviation</b> | 8,273            | 6,722             |
| <b>Median</b>         | 19,00            | 17,00             |

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μη παραμετρικός έλεγχος Wilcoxon signed rank, για να ερευνηθεί εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη διάμεσο της κλίμακας του άγχους των συμμετεχόντων πριν (pre-test) και μετά (post-test) την παρέμβαση. Ο μέσος του πληθυσμού πριν την παρέμβαση όσο αφορά το άγχος είναι μεγαλύτερος από το μέσο μετά την παρέμβαση. Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον πίνακα 10. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην κλίμακα του άγχους για την διδασκαλία των φυσικών επιστήμων ( $Z = -3,905$ ,  $p = 0,000 < 0,005$ ). Διαπιστώνεται ότι μετά την εφαρμογή της παρέμβασης με την χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή, η διάμεσος του σκορ των συμμετεχόντων για το άγχος ήταν μικρότερη από τη διάμεσο του σκορ στο αρχικό τεστ. Συμπερασματικά προκύπτει ότι η παρέμβαση στη οποία αξιοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής στην εκμάθηση μιας ενότητας φυσικών επιστήμων από τους συμμετέχοντες είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωσης του άγχους τους.

**Πίνακας 10: Σύγκριση των βαθμολογιών άγχους πριν και μετά την παρέμβαση. Αποτελέσματα ελέγχου Wilcoxon**

|                        | Γενικό Άγχος |
|------------------------|--------------|
| Z                      | -3,905       |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | ,000         |

### Ερευνητικό ερώτημα 3

«Πώς επιδρά η τρισδιάστατη σχεδίαση στο ενδιαφέρον των φοιτητών σχετικά με τις Φυσικές Επιστήμες και την τεχνολογία»;

Οι τιμές του γενικού ενδιαφέροντος για τις Φυσικές Επιστήμες παρατίθενται στον πίνακα 11. Επίσης αναφέρονται ο μέσος όρος και η απόκλιση από το μέσο όρο (τυπική απόκλιση) τόσο για το pre-test όσο και για το post-test. Αναλυτικότερα οι φοιτητές στην κλίμακα του ενδιαφέροντος σημείωσαν γενικό μέσο όρο στο pre-test  $\text{Mean}_{\text{pre}}=62,68$ , ενώ για το post-test  $\text{Mean}_{\text{post}}=70,32$ . Παρατηρείται από τον μέσο όρο στην συγκεκριμένη κλίμακα ότι στο σύνολο τους οι φοιτητές εκφράζουν ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες σε μεγάλο βαθμό το οποίο αυξάνεται μετά την παρέμβαση.

**Πίνακας 11: Περιγραφή Ενδιαφέροντος για τις Φυσικές Επιστήμες (pre-test) και (post-test)**

| <b>Μεταβλητές</b>     | Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες |       | Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης |       | Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία |       | Γενικό Ενδιαφέρον |        |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------|-------|-------------------|--------|
|                       | <b>Περιγραφικά μέτρα</b>                                                          |       |                                                                        |       |                                             |       |                   |        |
|                       | pre                                                                               | post  | pre                                                                    | post  | pre                                         | post  | pre               | post   |
| <b>Minimum</b>        | 12                                                                                | 18    | 8                                                                      | 16    | 11                                          | 15    | 33                | 49     |
| <b>Maximum</b>        | 35                                                                                | 35    | 25                                                                     | 25    | 29                                          | 30    | 87                | 88     |
| <b>Mean</b>           | 24,00                                                                             | 26,55 | 19,29                                                                  | 21,03 | 19,97                                       | 22,81 | 62,68             | 70,32  |
| <b>Std. Deviation</b> | 5,434                                                                             | 4,965 | 3,909                                                                  | 2,738 | 4,355                                       | 4,438 | 12,048            | 10,603 |
| <b>Median</b>         | 23,00                                                                             | 27,00 | 20,00                                                                  | 20,00 | 20,00                                       | 22,00 | 63,00             | 71     |

Για την απάντηση του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος, πραγματοποιήθηκε επίσης μη παραμετρικός έλεγχος Wilcoxon signed rank, με σκοπό να διερευνηθεί αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη διάμεσο των κλίμακων του ενδιαφέροντος και του άγχους των συμμετεχόντων πριν (pre-test) και μετά (post-test) την παρέμβαση. Με βάση τη μονόπλευρη εναλλακτική υπόθεση ότι η παρέμβαση βελτιώνει το ενδιαφέρον

των φοιτητών στις Φυσικές Επιστήμες ο μέσος του πληθυσμού πριν την παρέμβαση είναι μικρότερος από το μέσο μετά την παρέμβαση. Τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται στον πίνακα 12. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε κάθε κλίμακα του εργαλείου για το ενδιαφέρον στις Φυσικές Επιστήμες. Παρατηρούμε ότι μετά την εφαρμογή της παρέμβασης με την χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή, η διάμεσος του σκορ των συμμετεχόντων ήταν μεγαλύτερη από τη διάμεσο του σκορ στο αρχικό τεστ για κάθε κλίμακα του ενδιαφέροντος και αντίστροφα για το άγχος. Η βελτίωση καταγράφηκε σε όλες τις υποκλίμακες: ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστημών, τη χρήση τεχνολογίας στη διδασκαλία και τη σταδιοδρομία στην τεχνολογία. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η παρέμβαση στη οποία αξιοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής στην εκμάθηση μιας ενότητας φυσικών επιστημών από τους συμμετέχοντες είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος τους.

**Πίνακας 12: Σύγκριση των βαθμολογιών ενδιαφέροντος πριν και μετά την παρέμβαση**

|                        | Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστημών και καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες | Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης | Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία | Γενικό Ενδιαφέρον |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|
| Z                      | -2,953                                                                            | -2,252                                                                 | -3,436                                      | -3,496            |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | <b>,003</b>                                                                       | <b>,024</b>                                                            | <b>,001</b>                                 | <b>,000</b>       |

#### *Ερευνητικό ερώτημα 4*

*«Πώς σχετίζονται το άγχος των φοιτητών στο να διδάξουν Φυσικές Επιστήμες, το ενδιαφέρον που εκδηλώνουν για τις Φυσικές Επιστήμες και η κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας».*

Αρχικά εξετάζεται το ερευνητικό ερώτημα αν το ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες συσχετίζεται με το άγχος που βιώνουν οι φοιτητές στο να διδάξουν Φυσικές Επιστήμες τόσο πριν όσο και μετά την παρέμβαση. Από τα αποτελέσματα του πίνακα 13 στον οποίο καταγράφονται οι απαντήσεις των φοιτητών πριν την παρέμβαση παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις για όλους τους συνδυασμούς μεταβλητών. Βρέθηκε ότι υπάρχει σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ του άγχους των φοιτητών και του ενδιαφέροντος, το οποίο δηλώνει ότι υπάρχει εξάρτηση του ενδιαφέροντος από το άγχος για κάθε κλίμακα του εργαλείου. Συγκεκριμένα για την κλίμακα «ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστημών και καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες» βρέθηκε  $r_{ho}=-0,527$  και  $p=0,002<\alpha=0,05$ . Για την κλίμακα «ενδιαφέρον στη χρήση της τεχνολογίας» στην διαδικασία εκμάθησης των φυσικών επιστημών βρέθηκε  $r_{ho}=-0,369$  και  $p=0,027<\alpha=0,05$ , ενώ για την κλίμακά «ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στον τομέα της τεχνολογίας» πήραμε τιμές  $r_{ho}=-0,491$  και  $p=0,005<\alpha=0,05$ ). Επίσης φαίνεται ότι παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του άγχους και του γενικού ενδιαφέροντος των φοιτητών στις Φυσικές Επιστήμες ( $r_{ho}=-0,477$   $p=0,007<\alpha=0,05$ ). Τέλος αναφορικά με το pre test παρατηρήθηκε συσχέτιση του άγχους και της κατανόησης την πυκνότητας, με το αποτέλεσμα αυτό να είναι στατιστικά σημαντικό ( $r_{ho}=-0,420$   $p=0,019<\alpha=0,05$ ) (Παράρτημα II, πίνακας 17).

Σημειώνεται ότι ο λόγος για τον οποίο η συσχέτιση που εντοπίστηκε είναι αρνητική οφείλεται στο γεγονός ότι οι κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν ενώ έχουν βαθμολογηθεί στην ίδια κατεύθυνση, εκφράζουν αντίθετα συναισθήματα. Όσο αυξάνεται η βαθμολογία στην κλίμακα του άγχους τόσο περισσότερο άγχος βιώνει ένα άτομο άρα αρνητικό συναισθημα. Αντίθετα όσο αυξάνεται η βαθμολογία στις κλίμακες του ενδιαφέροντος τόσο περισσότερο ενδιαφέρον εκδηλώνει ένα άτομο επομένως έχει μια θετική εικόνα για τις Φυσικές Επιστήμες. Επομένως αν και υπάρχει αρνητική συσχέτιση όσο αφορά τις βαθμολογίες των δυο κλιμάκων (όσο αυξάνεται η βαθμολογία στην μια κλίμακα μειώνεται στην άλλη), αυτό σημαίνει ότι όσο

περισσότερο άγχος είχαν οι φοιτητές, τόσο λιγότερη σύνδεση είχαν με την εκμάθηση, την τεχνολογία και τη σταδιοδρομία στις Φ.Ε..

Όσο αφορά τις συσχετίσεις των κλίμακων των εργαλείων μετά την παρέμβαση δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του άγχους και του ενδιαφέροντος, καθώς και του άγχους και της κατανόησης. Αντιθέτως παρατηρήθηκαν θετικές στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της «κατανόησης» και της κλίμακας «ενδιαφέρον για την εκμάθηση Φυσικών Επιστημών και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες» (πίνακας 14) με τιμές  $r_{ho}=0,401$  και  $p=0,025 < \alpha=0,05$ . Επίσης θετικές συσχετίσεις καταγράφηκαν μεταξύ της «κατανόησης» και του «ενδιαφέροντος για τη χρήση της τεχνολογίας στην εκμάθηση των Φυσικών Επιστημών». Τέλος όσο αφορά την «κατανόηση» βρέθηκε ότι συσχετίζεται με το «γενικό ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες» ( $r=0,44$   $p=0,031 < \alpha=0,05$ ) το οποίο δηλώνει ότι όσο περισσότερο άγχος είχαν οι φοιτητές, τόσο λιγότερη κατανόηση είχαν (Παράρτημα II, πίνακας 18 ).

Στην περίπτωση των συσχετίσεων της κατανόησης με τις υποκλίμακες του εργαλείου για το ενδιαφέρον αυτές είναι θετικές. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότερη κατανόηση είχαν οι φοιτητές, τόσο ισχυρότερο ήταν το ενδιαφέρον τους για την εκμάθηση και την καριέρα στις Φυσικές Επιστήμες ..

**Πίνακας 13: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση . Αποτελέσματα ελέγχου Spearman**

| <i>Correlation Coefficient (pre test)</i> |                         |        |           |
|-------------------------------------------|-------------------------|--------|-----------|
|                                           |                         | Άγχος  | Κατανόηση |
| <b>Ενδιαφέρον</b>                         |                         |        |           |
| Εκκμάθηση και καριέρα στις Φ.Ε.           | Correlation Coefficient | -,527* | ,684*     |
| Χρήση τεχνολογίας                         | Correlation Coefficient | -,396* | ,456*     |
| Σταδιοδρομία στην τεχνολογία              | Correlation Coefficient | -,491* | ,414*     |
| Γενικό                                    | Correlation Coefficient | -,477* | ,534*     |
| <b>Κατανόηση</b>                          | Correlation Coefficient | -,420* |           |

\* Στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα Sig.<0,05

**Πίνακας 14: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση . Αποτελέσματα ελέγχου Spearman**

| <i>Correlation Coefficient (post test)</i> |                         |       |           |
|--------------------------------------------|-------------------------|-------|-----------|
|                                            |                         | Άγχος | Κατανόηση |
| <b>Ενδιαφέρον</b>                          |                         |       |           |
| Εκκμάθηση και καριέρα στις Φ.Ε.            | Correlation Coefficient | -,337 | ,401*     |
| Χρήση τεχνολογίας                          | Correlation Coefficient | -,127 | ,499*     |
| Σταδιοδρομία στην τεχνολογία               | Correlation Coefficient | -,261 | ,310      |
| Γενικό                                     | Correlation Coefficient | -,269 | ,440*     |
| <b>Κατανόηση</b>                           | Correlation Coefficient | -,221 |           |

\* Στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα Sig.<0,05

## *Ερευνητικό Ερώτημα 5*

*«Μπορεί να προβλεφθεί το ενδιαφέρον που εκδηλώνουν οι φοιτητές για τις Φυσικές Επιστήμες από το άγχος των φοιτητών στο να διδάζουν Φυσικές Επιστήμες»*

Η συσχέτιση που αναφέρθηκε προηγουμένως εξετάζει την αλληλεπίδραση δύο μεταβλητών, του άγχους και του ενδιαφέροντος. Αφού προέκυψε συσχέτιση μεταξύ τους τέθηκε σαν ερευνητικό ερώτημα αν το άγχος για την διδασκαλία των φυσικών επιστήμων μπορεί να προβλέψει το ενδιαφέρον που εκδηλώνουν οι φοιτητές. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης (regression analysis) για να ελεγχτεί η δυνατότητα πρόβλεψης του ενδιαφέροντος από το άγχος. Από την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης διαπιστώνεται ότι το άγχος ( $b=-0,682$ ,  $t=-2,855$ ,  $p=0,008$ ) αποτελεί έναν στατιστικά σημαντικό παράγοντα μέσω του οποίου μπορούμε να εκτιμήσουμε το ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων.

Ο προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$  είναι ίσος με 0,219 δηλαδή το ποσοστό εξήγησης των διακυμάνσεων του συγκεκριμένου μοντέλου βρίσκεται στο 21,9% (πίνακας 15). Επομένως το 21,9% της διασποράς του «ενδιαφέροντος για την για τις Φυσικές Επιστήμες» μπορεί να ερμηνευτεί από την επίδραση του άγχους. Από τον συντελεστή B ( $b=-0,682$ ) της παλινδρόμησης μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι λόγω του γεγονότος ότι είναι αρνητικός αριθμός, οι μεταβολές των βαθμών στην κλίμακα του άγχους και οι μεταβολές των βαθμών στην κλίμακα του ενδιαφέροντος βρίσκονται σε αντίθετες κατευθύνσεις (πίνακας 16).

Το γεγονός ότι ο συντελεστής B για το άγχος είναι μικρότερος της μονάδας, ( $b=-0,682$ ) σημαίνει ότι για μια δεδομένη μεταβολή του βαθμού αυτού, ο βαθμός του ενδιαφέροντος θα μεταβληθεί κατά ένα μεγαλύτερο βαθμό. Αναλυτικότερα για μια μεταβολή 1% στη βαθμολογία του άγχους θα παρατηρηθεί μεταβολή της τάξης του 0,682% για το ενδιαφέρον προς της αντίθετη κατεύθυνση. Δηλαδή μια αύξηση στην βαθμολογία του άγχους ενός συμμετέχοντα θα μείωνε το ενδιαφέρον του για τις Φυσικές Επιστήμες κατά τον παραπάνω παράγοντα.

Επομένως συμπερασματικά προκύπτει ότι το άγχος που βιώνει ένας φοιτητής για να διδάξει Φυσικές Επιστήμες επηρεάζει και μπορεί να προβλέψει το ενδιαφέρον του σε ποσοστό 21,9%. Πρέπει να επισημανθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του R Square

του πίνακα 15 τόσο πιο αξιόπιστο είναι το μοντέλο στο να προβλέψει την εξαρτημένη μεταβλητή.

**Πίνακας 15: Συντελεστής προσδιορισμού γραμμικής παλινδρόμησης**

| Model Summary |      |             |                   |                            |
|---------------|------|-------------|-------------------|----------------------------|
| Model         | R    | R Square    | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1             | ,468 | <b>,219</b> | ,192              | 10,827                     |

Dependent Variable: Γενικό Ενδιαφέρον  
Predictors: (Constant), Γενικό Άγχος

**Πίνακας 16: Γραμμική Παλινδρόμηση**

| Coefficients <sup>a</sup>             |              |                             |            |                           |        |             |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|-------------|
| Model                                 |              | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients | t      | p-value     |
|                                       |              | B                           | Std. Error | Beta                      |        |             |
| 1                                     | (Constant)   | 77,443                      | 5,525      |                           | 14,016 | ,000        |
|                                       | Γενικό Άγχος | <b>-,682</b>                | ,239       | -,468                     | -2,855 | <b>,008</b> |
| Dependent Variable: Γενικό Ενδιαφέρον |              |                             |            |                           |        |             |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΖΗΤΗΣΗ -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα έρευνα διερεύνησε την επίδραση της τρισδιάστατης σχεδίασης στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και συγκεκριμένα στην ενότητα «Πυκνότητα» στους φοιτητές, με σκοπό να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα αυτής της διδακτικής προσέγγισης σε τρεις βασικούς τομείς: το ενδιαφέρον των φοιτητών για τις φυσικές επιστήμες, το άγχος τους για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και τη γνώση τους για την έννοια της πυκνότητας. Τα αποτελέσματα της μελέτης προσφέρουν σημαντικές ενδείξεις για την εκπαιδευτική αξία της ενσωμάτωσης καινοτόμων τεχνολογιών, όπως οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Ο κυριότερος τομέας στον οποίο αξιολογήθηκε η τρισδιάστατη σχεδίαση ήταν η εννοιολογική κατανόηση της πυκνότητας από τους φοιτητές η οποία βελτιώθηκε σημαντικά μετά την παρέμβαση. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκουν απήχηση στα ευρήματα των Hsieh και Tsai (2017) και των Pantazis και συν. (2021) που αναφέρουν ότι η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών ενισχύει την κατανόηση επιστημονικών εννοιών, προσφέροντας στους μαθητές τη δυνατότητα να συνδέσουν τη θεωρητική γνώση με πρακτικές δραστηριότητες. Η βελτίωση της γνώσης των φοιτητών ως συμπέρασμα της έρευνας ταυτίζεται με συμπεράσματα των Hsiao και συν. (2018) οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η ενσωμάτωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε βιωματικές στρατηγικές μάθησης επιτρέπει στους μαθητές να κατανοούν καλύτερα αφηρημένες επιστημονικές έννοιες. Η ενεργός συμμετοχή των φοιτητών στην δημιουργία φυσικών αντικειμένων μέσω τρισδιάστατου εκτυπωτή και η ανταλλαγή ιδεών μεταξύ τους φάνηκε μέσα από την παρούσα ερευνά να προάγει τη βαθύτερη κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας και την ενίσχυση των δεξιοτήτων συνεργασίας.

Επιπλέον, οι θετικές συσχετίσεις ανάμεσα στην κατανόηση και το ενδιαφέρον για τις Φυσικές Επιστήμες, τη χρήση της τεχνολογίας, και την επαγγελματική προοπτική δείχνουν ότι η ενίσχυση της κατανόησης μπορεί να λειτουργήσει ως κίνητρο. Κατανοώντας οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί καλύτερα κάποιο θέμα που σχετίζεται με τις Φυσικές Επιστήμες, φαίνεται να αυξάνεται το ενδιαφέρον τους τόσο για την επιστημονική γνώση όσο και για τη σύνδεσή της με την τεχνολογία. Επίσης η παρατήρηση ότι η κατανόηση σχετίζεται με το ενδιαφέρον για τη χρήση τεχνολογίας υποδεικνύει τη σημαντική συμβολή των καινοτόμων εργαλείων, όπως η τρισδιάστατη

εκτύπωση στην εκπαιδευτική διαδικασία. Αυτό ενισχύει την άποψη ότι η τεχνολογία μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα ανάμεσα σε αφηρημένες έννοιες και τη πρακτική εφαρμογή τους.

Η αρνητική μεταβολή σε δυο από τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου για την κατανόηση της πυκνότητας στις οποίες οι φοιτητές απάντησαν σωστά σε μικρότερο ποσοστό μετά την παρέμβαση, ενδέχεται να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες. Οι ερωτήσεις αυτές απαιτούσαν κατανόηση της σχέσης μεταξύ όγκου, μάζας και πυκνότητας, γεγονός που ίσως περιπλέχθηκε από την προσθήκη πρακτικών και βιωματικών δραστηριοτήτων με τον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Η προσπάθεια ερμηνείας των εννοιών με βάση τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν μπορεί να οδήγησε σε παρερμηνείες ή σύγχυση, ιδιαίτερα αν δόθηκε έμφαση από τους φοιτητές περισσότερο στο σχεδιασμό και όχι στις έννοιες. Συνολικά, η αρνητική μεταβολή υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω εστίαση στη διευκρίνιση εννοιών και τη σύνδεσή τους με πρακτικές εφαρμογές, ώστε να ενισχυθεί η εννοιολογική αλλαγή.

Ένα από τα βασικά ευρήματα της έρευνας ήταν η αύξηση του ενδιαφέροντος των φοιτητών για τις φυσικές επιστήμες μετά την παρέμβαση, καταδεικνύοντας μια θετική επίδραση της χρήσης του τρισδιάστατου εκτυπωτή στη διδακτική διαδικασία. Πρέπει να επισημανθεί ότι το ενδιαφέρον των φοιτητών ήταν αρκετά υψηλό και πριν την παρέμβαση, παρόλα αυτά παρατηρήθηκε μια μικρή αύξηση. Αυτή η αύξηση παρατηρήθηκε σε όλες τις υποκλίμακες του εργαλείου αξιολόγησης, του ενδιαφέροντος για τις Φυσικές Επιστήμες. Η χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή φαίνεται να ενίσχυσε το γενικό ενδιαφέρον των φοιτητών για τις Φυσικές Επιστήμες, δημιουργώντας μια πιο ελκυστική και τεχνολογικά προσαρμοσμένη μαθησιακή εμπειρία.

Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τα ευρήματα της έρευνας των Novak και Wisdom (2019), όπου η ενεργός εμπλοκή φοιτητών σε έργα τρισδιάστατης εκτύπωσης ενίσχυσε το ενδιαφέρον και την κατανόησή τους για επιστημονικές έννοιες, ενώ προώθησε δεξιότητες συνεργασίας και επικοινωνίας. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε και η έρευνα των Bull και συν. (2015), στην οποία φάνηκε ότι δραστηριότητες οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή ενθάρρυναν το ενδιαφέρον ορισμένων μαθητών να ακολουθήσουν καριέρα στην μηχανική. Σε αντίθετα αποτελέσματα παρόλα αυτά κατέληξε η έρευνα των Pantazis και συν. (2021) στην

οποία δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών μετά την διδασκαλία με τρισδιάστατο εκτυπωτή, αν και οι ερευνητές επισημαίνουν ότι το ενδιαφέρον των μαθητών ήταν ήδη αυξημένο.

Ένα άλλο αξιοσημείωτο εύρημα της μελέτης αφορά τη μείωση του άγχους των φοιτητών για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Η παρέμβαση οδήγησε σε χαμηλότερα επίπεδα άγχους, με αποτέλεσμα οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί να αισθάνονται ότι θα βιώνουν πιο ήπιο άγχος κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Η ανάλυση έδειξε ότι η μείωση του άγχους ήταν ανεξάρτητη από τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των φοιτητών (φύλο, κατεύθυνση στο λύκειο κ.λπ.), υποδηλώνοντας την καθολική αποτελεσματικότητα της παρέμβασης (Παράρτημα II, πίνακας 17). Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρνητική συσχέτιση που εντοπίστηκε πριν την παρέμβαση μεταξύ του άγχους και του ενδιαφέροντος δεν παρατηρήθηκε μετά την παρέμβαση. Αυτό το εύρημα υποδηλώνει ότι η παρέμβαση συνέβαλε στη δημιουργία μιας μαθησιακής εμπειρίας όπου οι φοιτητές μπορούσαν να επικεντρωθούν περισσότερο στο ενδιαφέρον τους για τις Φυσικές Επιστήμες παρά στο άγχος τους για τη διδασκαλία.

Τα αποτελέσματα αυτά ταυτίζονται με τα αποτελέσματα της έρευνας των Pantazis και συν. (2021) στην οποία επισημαίνεται ότι χρήση της τεχνολογίας τρισδιάστατου εκτυπωτή, έχει σημαντική θετική επίδραση στο επίπεδο του άγχους των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες. Παρόμοια ευρήματα έχουν αναφερθεί από τους Hsiao και συν. (2018) όπου η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης με βιωματικές στρατηγικές μάθησης (ELS) μείωσε το άγχος των μαθητών και ενίσχυσε την κατανόηση αφηρημένων επιστημονικών εννοιών. Η σύνδεση της γνώσης με πρακτικές δραστηριότητες αποδείχθηκε ότι βελτιώνει την εμπιστοσύνη των μαθητών στις ικανότητές τους.

Η παρούσα έρευνα καταδεικνύει ότι η χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή ως διδακτικό εργαλείο μπορεί να έχει σημαντικές θετικές επιπτώσεις στην εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών. Οι φοιτητές φαίνεται να εμπλέκονται περισσότερο, να μειώνουν το άγχος τους και να κατανοούν βαθύτερα βασικές έννοιες όπως η πυκνότητα. Επομένως η συμπερίληψη του τρισδιάστατου εκτυπωτή στην διδασκαλία περισσότερων ενοτήτων των Φυσικών Επιστημών μπορεί να ενισχύσει τη μαθησιακή

εμπειρία, οδηγώντας στην ανάπτυξη στρατηγικών που μειώνουν το άγχος των φοιτητών, όπως πιο διαδραστικές και συμμετοχικές δραστηριότητες.

Η τρισδιάστατη σχεδίαση και η χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών αναδεικνύεται μέσα από την έρευνα ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση που μπορεί να ενισχύσει την εμπλοκή, την κατανόηση και το ενδιαφέρον των φοιτητών, ενώ παράλληλα μειώνει το άγχος τους. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προσφέρουν ισχυρές ενδείξεις για την ενσωμάτωση τέτοιων τεχνολογιών στην εκπαιδευτική πρακτική, προάγοντας τη δημιουργικότητα και την κριτική σκέψη στους φοιτητές. Επομένως συμπερασματικά από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι η κατάρτιση των εκπαιδευτικών στη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών και άλλων καινοτόμων εργαλείων μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της διδασκαλίας.

## **ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

Η παρούσα έρευνα η οποία επικεντρώνεται στη διδασκαλία Φυσικών Επιστημών με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ένας από αυτούς είναι η απουσία ομάδας ελέγχου, γεγονός που μπορεί να περιορίζει την ικανότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων και τη σαφή διάκριση της αποτελεσματικότητας της παρέμβασης από εξωτερικούς παράγοντες.. Επιπλέον, το μέγεθος του δείγματος ήταν μικρό, περιορίζοντας τη γενικευσιμότητα των ευρημάτων και αυξάνοντας τον κίνδυνο μεροληψίας στα αποτελέσματα. Παρά το μικρό αριθμό συμμετεχόντων και την απουσία ομάδας ελέγχου, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις από την παρούσα εργασία ότι η χρήση του τρισδιάστατου εκτυπωτή ενισχύει την κατανόηση των φοιτητών στην έννοια της πυκνότητας, αυξάνει το ενδιαφέροντος για της Φυσικές Επιστήμες και μειώνει το άγχος για την διδασκαλία τους. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ομάδες ελέγχου για την ενίσχυση της εσωτερικής εγκυρότητας και τη σύγκριση της παρέμβασης με άλλες διδακτικές πρακτικές.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abburi, R., Praveena, M., & Priyakanth, R. (2021). TinkerCad – A web-based application for virtual labs to help learners think, create and make. *Journal of Engineering Education Transformations*, 34(Special Issue). <https://doi.org/10.16920/jeet/2021/v34i0/157204>
- Alhamad, M., Waleed, K. A., Ali, H. Z., & AlJassmi, H. (2020). 3D printing applications in mechanical engineering education. In M. S. Khine & N. Ali (Eds.), *Integrating 3D Printing into Teaching and Learning* (pp. 90–131). Brill Sense.
- Allen, A. J., Leonard, H., & Swedo, S. E. (1995). Current knowledge of medications for the treatment of childhood anxiety disorders. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 34(8), 976–986. <https://doi.org/10.1097/00004583-199508000-00007>.
- Arvanitidi, E., Drosos, C., Theocharis, E., Papoutsidakis, M. (2019). 3D Printing and Education. *International Journal of Computer Applications*, (177)24, 55-59. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919711>
- Avci, F., & Kirbaslar, F.G. (2017). Determination of factors affecting the science anxiety levels of secondary school students. *Journal of Science and Mathematics Education*, 11(1), 401-417. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:54794818>
- Beaton, D. E., Bombardier, C., Guillemin, F., & Ferraz, M. B. (2000). Guidelines for the process of cross-cultural adaption of self-report measures. *Spine*, 25(24), 3186–3191. <https://doi.org/10.1097/00007632-200012150-00014>
- Bell, D., Wooff, D., McLain, M., & Morrison-Love, D. (2017). Analysing design and technology as an educational construct: An investigation into its curriculum position and pedagogical identity. *The Curriculum Journal*, 28(4), 539–558. <https://doi.org/10.1080/09585176.2017.1286995>
- Berry, R. Q., Bull, G., Browning, C., Thomas, C. D., Starkweather, G., & Aylor, J. (2010). Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. *Contemporary Issues in Technology and*

*Teacher Education*, 10(2), 167–172. Retrieved June 27, 2024 from <https://www.learntechlib.org/primary/p/35289/>.

- Bodzin, A., Hammond, T., Fu, Q., & Farina, W. (2020). Development of instruments to assess students' Spatial Learning Attitudes (SLA) and interest in Science, Technology and Geospatial Technology (STEM-GEO). *International Journal of Educational Methodology*, 6(1), 67-81. <https://doi.org/10.12973/ijem.6.1.67>
- Buehler, E., Comrie, N., Hofmann, M., McDonald, S., & Hurst, A. (2016). Investigating the implications of 3D printing in special education. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 8(3), Article 13. <https://doi.org/10.1145/2870640>
- Bull, G., Chiu, J., Berry, R., Lipson, H., & Xie, C. (2014). Advancing children's engineering through desktop manufacturing. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (4th ed., pp. 675–688). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5>
- Cassady, J.C. (2020). Academic Anxiety Scale. Academic Anxiety Resource Center. <https://sites.bsu.edu/aarc/research/academic-anxiety-scale/>
- Cheng, L., Antonenko, P., Ritzhaupt, A., Dawson, K., Miller, D., MacFadden, B., et al. (2020). Exploring the influence of teachers' beliefs and 3D printing integrated STEM instruction on students' STEM motivation. *Computers & Education*, 158, 103983. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103983>
- Chiu, P. H. P., Lai, K. W. C., Fan, T. K. F., & Cheng, S. H. (2015). A pedagogical model for introducing 3D printing technology in a freshman-level course based on a classic instructional design theory. *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344287>
- Degnan, M. (2018). *3D printing techniques and processes (Project learning with 3D printing)*. Cavendish Square.

- Drijvers, P., Csapodi, C., Palmér, H., Gosztonyi, K., & Kónya, E. (Eds.). (2023). *Proceedings of the Thirteenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME13)* (pp. 1211–1218). Alfréd Rényi Institute of Mathematics and ERME.
- Faremi, Y. A. (2016). Reliability coefficient of multiple-choice and short answer objective test items in basic technology: comparative approach. *Journal of Educational Policy and Entrepreneurial Research (JEPER)*, 3(3), 59–69.
- Fokides, E., & Lagopati, G. (2024). The utilization of 3D printers by elementary-aged learners: A scoping review. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 23, Article 6. <https://doi.org/10.28945/5288>
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Go, J., & Hart, A. J. (2016). A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. *Additive Manufacturing*, 10, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.03.001>
- Hambleton, R. K. (2001). The next generation of the ITC test translation and adaptation guidelines. *European Journal of Psychological Assessment*, 17(3), 164–172. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1027/1015-5759.17.3.164>
- Han, S. (2017). What motivates high-school students to pursue STEM careers? The influence of public attitudes towards science and technology in comparative perspective. *Journal of Education and Work*, 30, 1–21. <https://doi.org/10.1080/13639080.2017.1329584>
- Hashweh, M.Z. (2016) The complexity of teaching density in middle school, *Research in Science & Technological Education*, 34(1), 1–24, <https://doi.org/10.1080/02635143.2015.1042854>
- Hellenic Center for Additive Manufacturing. (2024). History. Retrieved August 18, 2024, from <https://hellenic-cam.gr/history/>

- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- Hsiao, H.-S., Chen, J.-C., Lin, C.-Y., Zhuo, P.-W., & Lin, K.-Y. (2018). Using 3D printing technology with experiential learning strategies to improve preengineering students' comprehension of abstract scientific concepts and hands-on ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 1–10. <https://doi.org/10.1111/jcal.12319>
- Hsieh, W. M., & Tsai, C. C. (2017). Taiwanese high school teachers' conceptions of mobile learning. *Computers & Education*, 115, 82–95. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.013>
- Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., & Raina, A. (2022). 3D printing – A review of processes, materials, and applications in Industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004>
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Kruth, J., Wang, X., Laoui, T., & Froyen, L. (2003). Lasers and materials in selective laser sintering. *Assembly Automation*, 23(4), 357–371. <https://doi.org/10.1108/01445150310698652>
- Küçük, M., Talan, T., & Demirbilek, M. (2024). The effect of creating 3D objects with block codes on spatial and computational thinking skills. *Informatics in Education*, 00, 125–143. <https://doi.org/10.15388/infedu.2024.02>
- Li, Z. X., Yen, T. C., Ray, M. R., Mattia, D., Metcalfe, I. S., & Patterson, D. A. (2016). Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques. *Journal of Membrane Science*, 523(1), 596–613.

- Maier Z. Hashweh (2016) The complexity of teaching density in middle school. *Research in Science & Technological Education*, 34(1), 1-24, <https://doi.org/10.1080/02635143.2015.1042854>
- Manapat, J. Z., Chen, Q., Ye, P., & Advincula, R. C. (2017). 3D printing of polymer nanocomposites via stereolithography. *Macromolecular Materials and Engineering*, 302(9), 160-553. <https://doi.org/10.1002/mame.201600553>
- Mazziotti, C., Rummel, N., Deiglmayr, A., & Loibl, K. (2019). Probing boundary conditions of productive failure and analyzing the role of young students' collaboration. *NPJ Science of Learning*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/s41539-019-0042-9>
- Minetola, P., Iuliano, L., Bassoli, E. and Gatto, A. (2015), Impact of additive manufacturing on engineering education – evidence from Italy. *Rapid Prototyping Journal*, (21) 5. 535-555. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0123>
- Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., & Hooper, M. (2016). TIMSS 2015 international results in science. TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College. <https://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/wp-content/uploads/filebase/full%20pdfs/T15-International-Results-in-Science.pdf>
- Naquila, J. C., & Israel, G. F. G. (2022). Attitudes toward teaching science and self-efficacy as predictors of science teaching anxiety among preservice teachers. *United International Journal for Research & Technology*, 3(8), 115-122. Βάλε retrieved from..
- Ng, O. L., Shi, L., & Ting, F. (2020). Exploring differences in primary students' geometry learning outcomes in two technology-enhanced environments: Dynamic geometry and 3D printing. *International Journal of STEM Education*, 7(50). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00244-1>

- Ng, O., & Chan, T. (2018). Learning as making: Using 3D computer-aided design to enhance the learning of shape and space in STEM-integrated ways. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 294–308. <https://doi.org/10.1111/bjet.12643>
- Ngo, T., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications, and challenges. *Composite Part B*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- Novak, E., & Wisdom, S. (2019). Using 3D printing in science for elementary teachers. In J. J. Mintzes & E. M. Walter (Eds.), *Active Learning in College Science: The Case for Evidence-Based Practice* (Springer).
- Novak, E., Soyuturk, I., & Navy, S. (2022). Development of the science teaching anxiety scale for preservice elementary teachers: A Rasch analysis. *Science Education*, 106(3), 739-764. <https://doi.org/10.1002/sce.21707>
- Nyman, H. J., & Sarlin, P. (2014). From bits to atoms: 3D printing in the context of supply chain strategies. In *47th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 4190–4199). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.517>
- Pantazis, A., & Priavolou, C. (2017). 3D printing as a means of learning and communication: The 3Ducation project revisited. *Telematics and Informatics*. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.06.010>
- Pantazis, S., Stylos, G., Kotsis, T. K., & Georgopoulos, K. (2021). The effect of 3D printing technology on primary school students' content knowledge, anxiety and interest toward science. *International Journal of Educational Innovation*, 3(1), 38.
- Perera, H. N., & McIlveen, P. (2018). Vocational interest profiles: Profile replicability and relations with the STEM major choice and the big-five. *Journal of Vocational Behavior*, 106, 84-100. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2017.11.012>
- Sahin, A., Ekmekci, A., & Waxman, H. (2017). Characteristics of students who majored in STEM fields. *International Journal of Science Education*, 39(11), 1549-1572. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1341067>

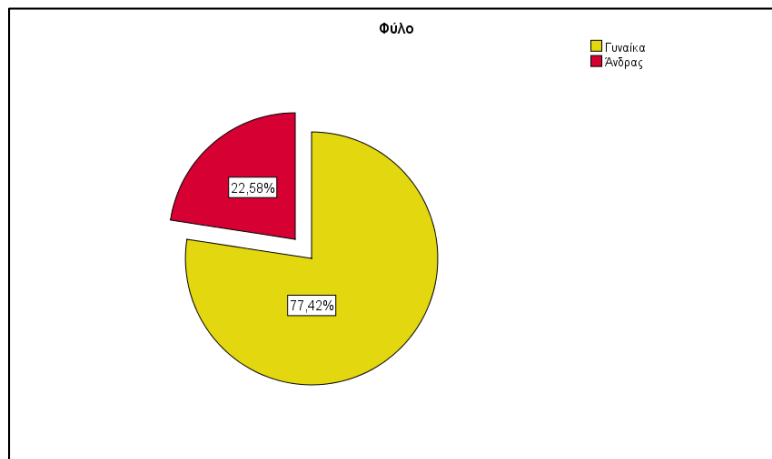
- Sahin, D., & Yilmaz, R. M. (2020). The effect of augmented reality technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education. *Computers & Education*, 144, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Sáinz, M., Fàbregues, S., Rodó-de-Zárate, M., Martínez-Cantos, J. L., Arroyo, L., & Romano, M. J. (2020). Gendered motivations to pursue male-dominated STEM Careers among Spanish young people: A qualitative study. *Journal of Career Development*, 47(4), 408-423. <https://doi.org/10.1177/0894845318801101>
- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
- Siregar, N. C., Rosli, R., & Maat, S. M. (2020). The effects of a discovery learning module on geometry for improving students' mathematical reasoning skills, communication, and self-confidence. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 19(3), 214-228. <https://doi.org/10.26803/ijlter.19.3.12>
- Siregar, N. C., Rosli, R., & Nite, S. (2023). Students' interest in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) based on parental education and gender factors. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 18(2), em0736. <https://doi.org/10.29333/iejme/13060>
- Steed, M., & Wevers, M. (2016). 3D printing & the design process: A pilot project between university student teachers and grade four students. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 354–359). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Stylos, G., Sargioti, Aik., Mavridis, D., & Kotsis, T.K. (2021). Validation of the Thermal Concept Evaluation Test for Greek University Students' Misconceptions of Thermal Concepts. *International Journal of Science Education*, 43(2), 247-273. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1865587>

- Syed, M. T., Elias, P. K., Amit, B., Susmita, B., Lisa, O., & Charitidis, C. (2017). Additive manufacturing: Scientific and technological challenges, market uptake, and opportunities. *Materials Today*, 1, 1–16.
- Uçak, E. & Say, S. (2019). Analyzing the Secondary School Students' Anxiety towards Science Course in Terms of a Number of Variables. *European Journal of Educational Research*.. 63-71. 10.12973/eu-jer.8.1.63.
- Udo, MK, Ramsey, GP, Mallow, JV. (2004). Science anxiety and gender in students taking general education science courses. *Journal of Science Education and Technology*, 13(4), 435–446. <https://www.learntechlib.org/p/166047/>
- Ul Haq, M. I., Raina, A., Ghazali, M. J., Javaid, M., & Haleem, A. (2021). Potential of 3D printing technologies in developing applications of polymeric nanocomposites. In *Tribology of Polymer and Polymer Composites for Industry 4.0* (pp. 1–27). [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3903-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3903-6_10)
- Urban, M. J., & Favlo, D. A. (2016). Improving K-12 STEM education outcomes through technological integration. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9616-7>
- Van Griethuijsen, R. A. L. F., van Eijck, M. W., Haste, H., den Brok, P. J., Skinner, N. C., Mansour, N., Savran Gencer, A., & BouJaoude, S. (2015). Global patterns in students' views of science and interest in science. *Research in Science Education*. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9438-6>
- Yoder, B. L., (2017). Engineering by the numbers. In 2017 ASEE profiles of engineering and engineering technology colleges (pp. 13-49). ASEE. [https://tauruspet.med.yale.edu/staff/edm42/courses/ENAS\\_508\\_2019/Sessions/Session\\_2\\_Women\\_Panel/](https://tauruspet.med.yale.edu/staff/edm42/courses/ENAS_508_2019/Sessions/Session_2_Women_Panel/)
- Zhu, C., Klapwijk, R., Silva-Ordaz, M., Spandaw, J., & de Vries, M. (2024). Investigating the role of spatial thinking in children's design ideation through an open-ended design-by-analogy challenge. *International Journal of Technology and Design Education*. <https://doi.org/10.1007/s10798-024-09877-7>

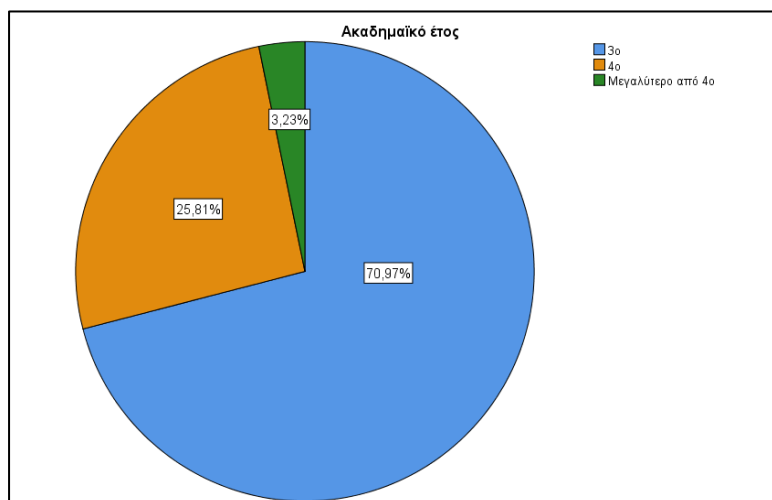
Zichar, M. (2022). Mathability in the fields of 3D printing and modeling. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(1).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

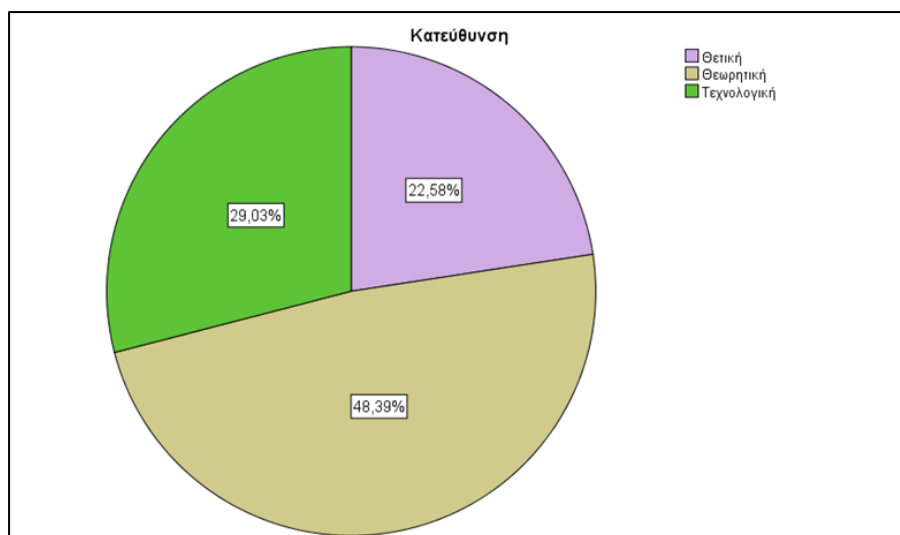
Κυκλικά διαγράμματα δημογραφικών στοιχείων δείγματος



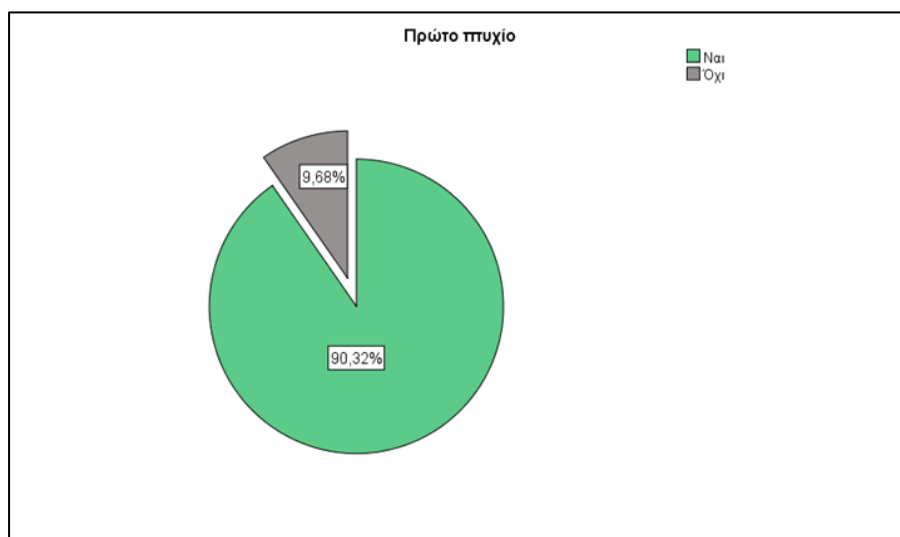
Σχήμα 1: Κατανομή δείγματος με βάση το φύλο



Σχήμα 2: Κατανομή δείγματος με βάση το Ακαδημαϊκό έτος

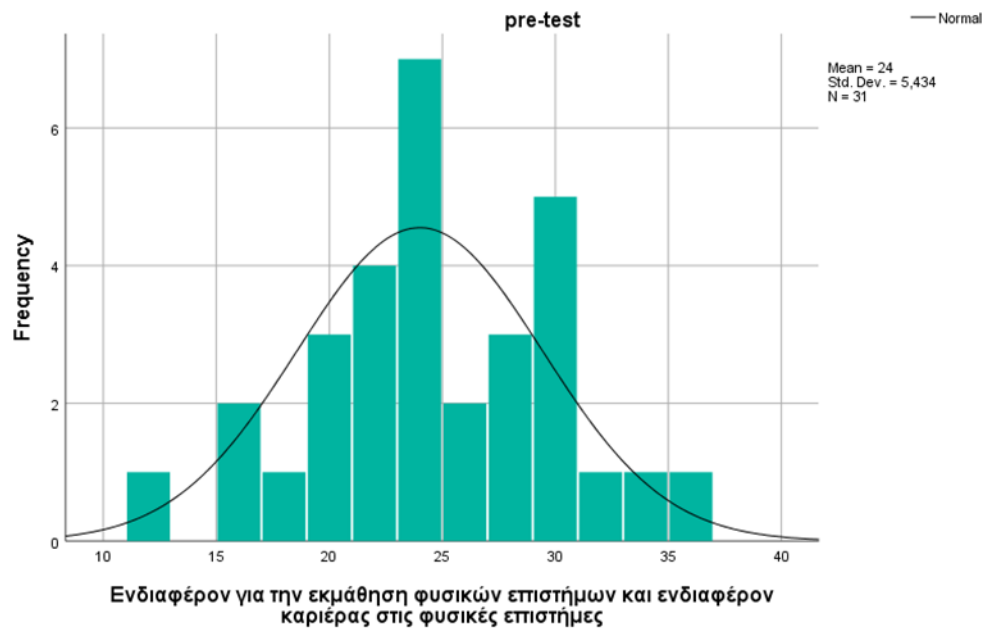


Σχήμα 3: Κατανομή δείγματος με βάση την Κατεύθυνση

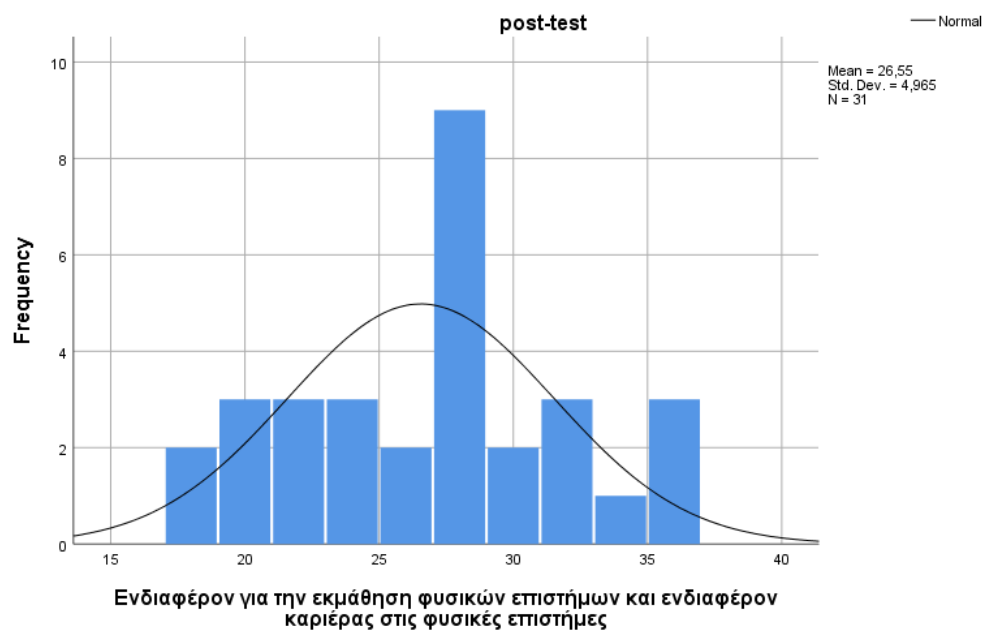


Σχήμα 4: Κατανομή δείγματος με βάση το Πρώτο Πτυχίο

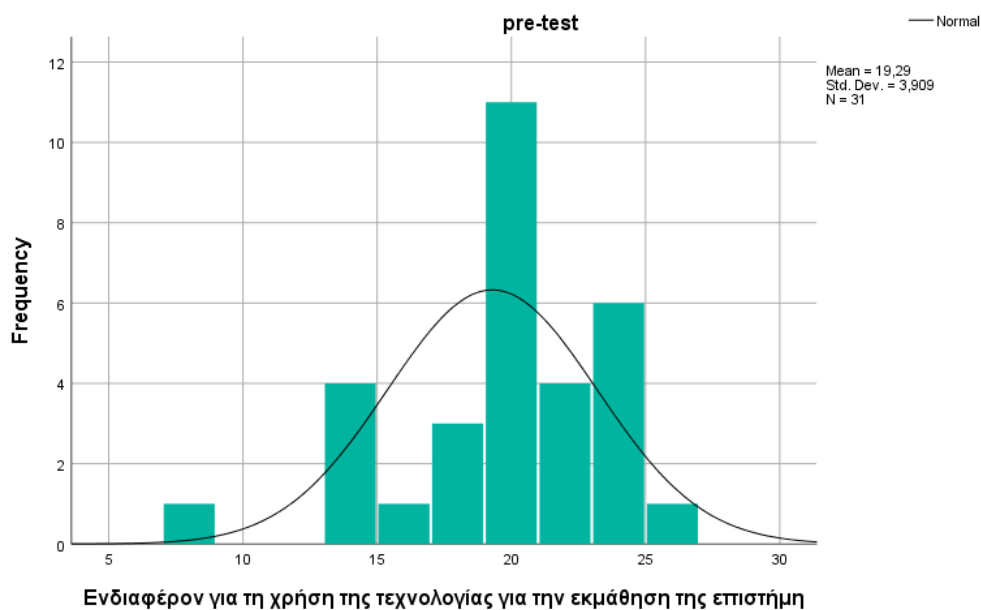
## Ιστογράμματα και η καμπύλη κανονικής κατανομής pre-test και post- test



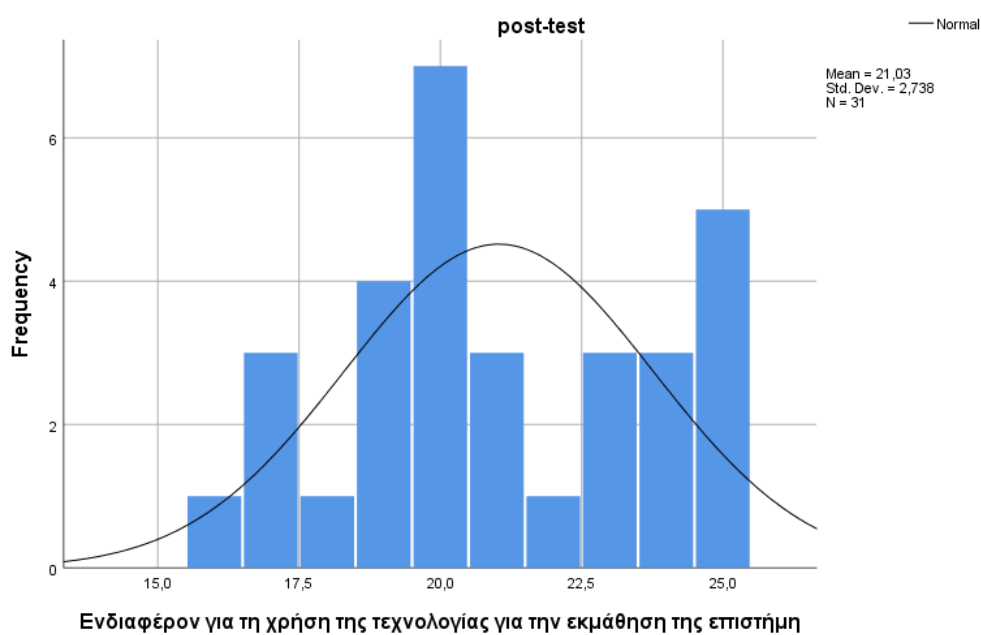
Σχήμα 5: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες»



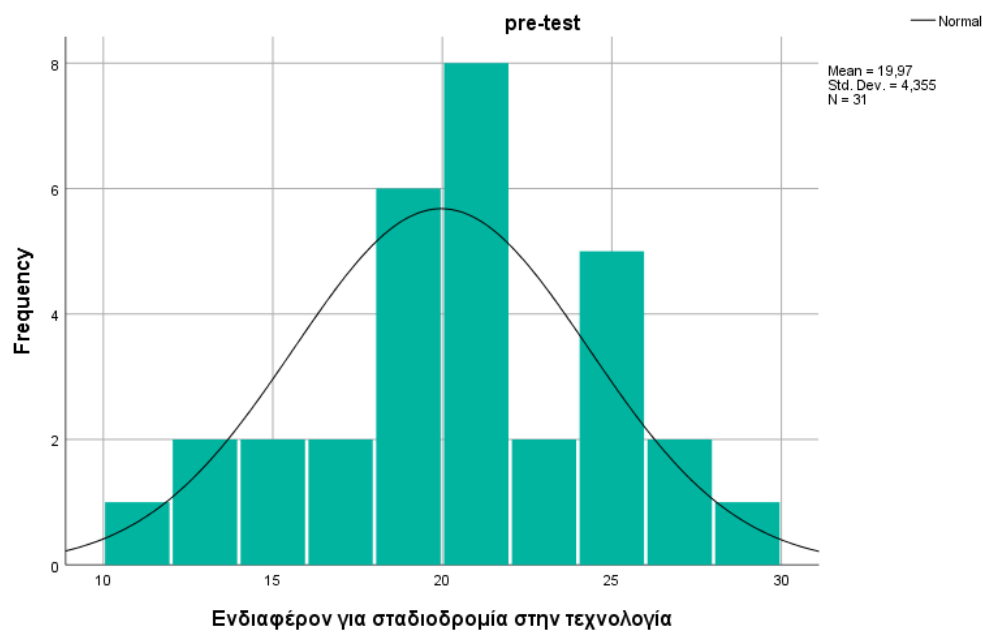
Σχήμα 6: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για την εκμάθηση φυσικών επιστήμων και ενδιαφέρον καριέρας στις Φυσικές Επιστήμες»



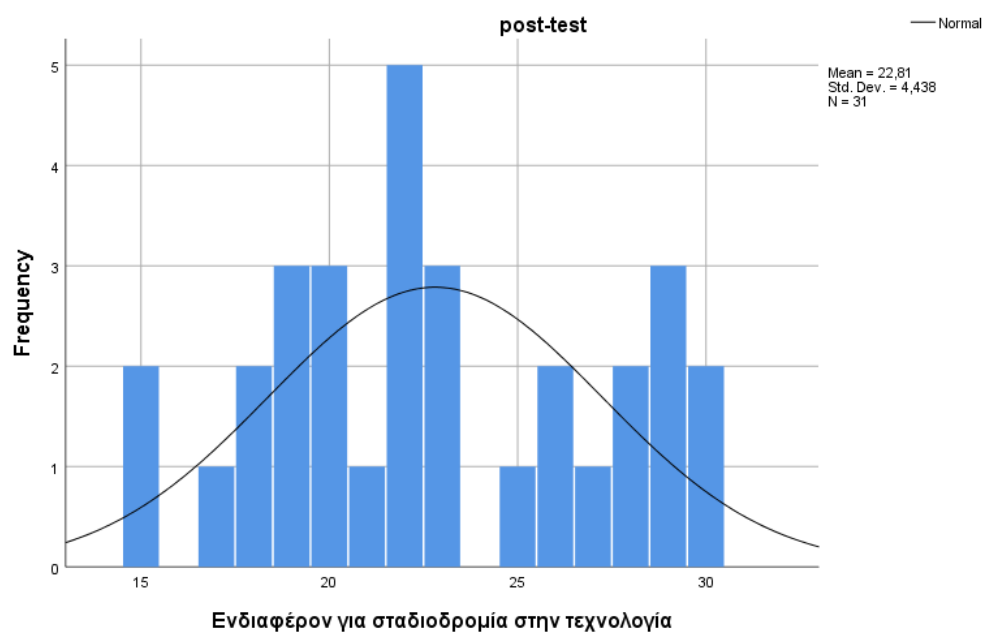
Σχήμα 7: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης»



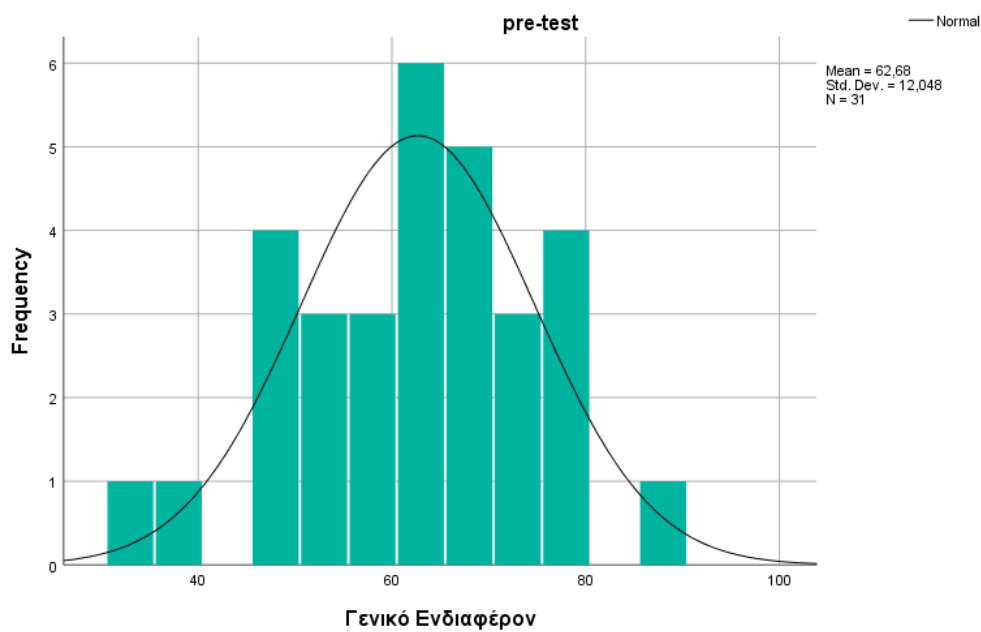
Σχήμα 8: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για τη χρήση της τεχνολογίας για την εκμάθηση της επιστήμης»



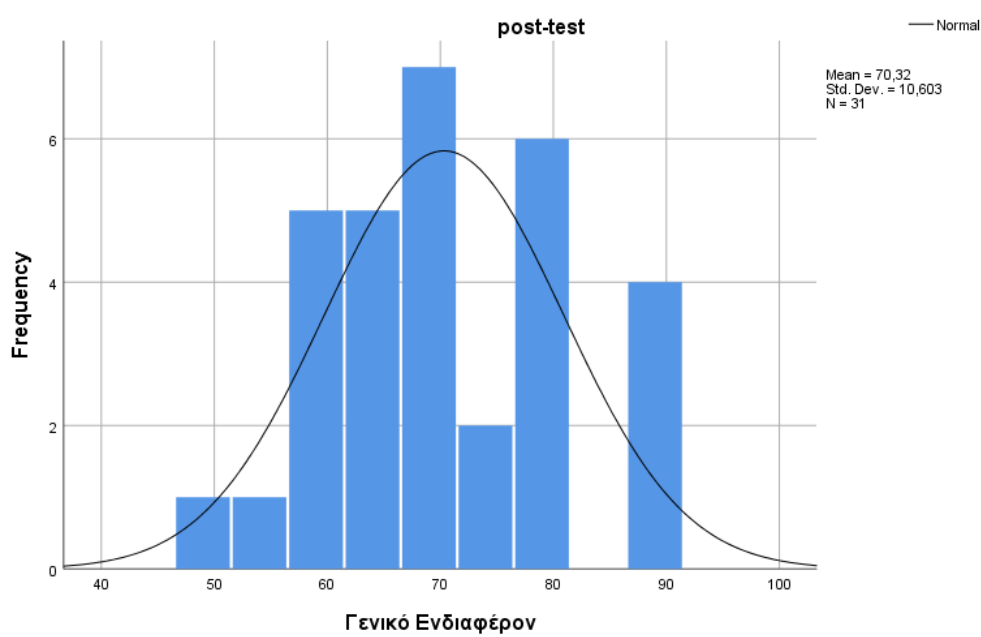
Σχήμα 9: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία »



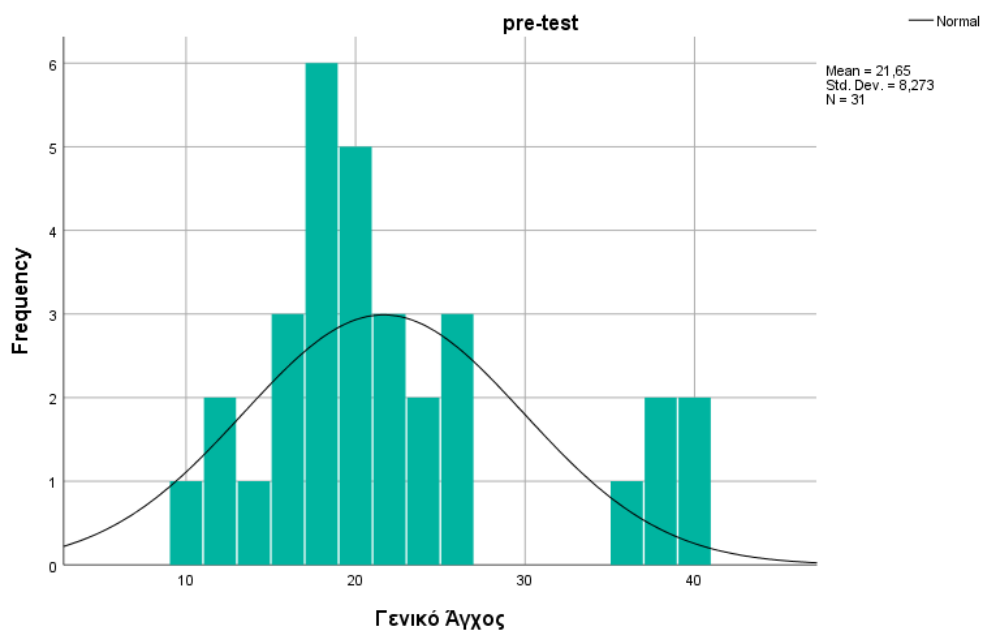
Σχήμα 10: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Ενδιαφέρον για σταδιοδρομία στην τεχνολογία »



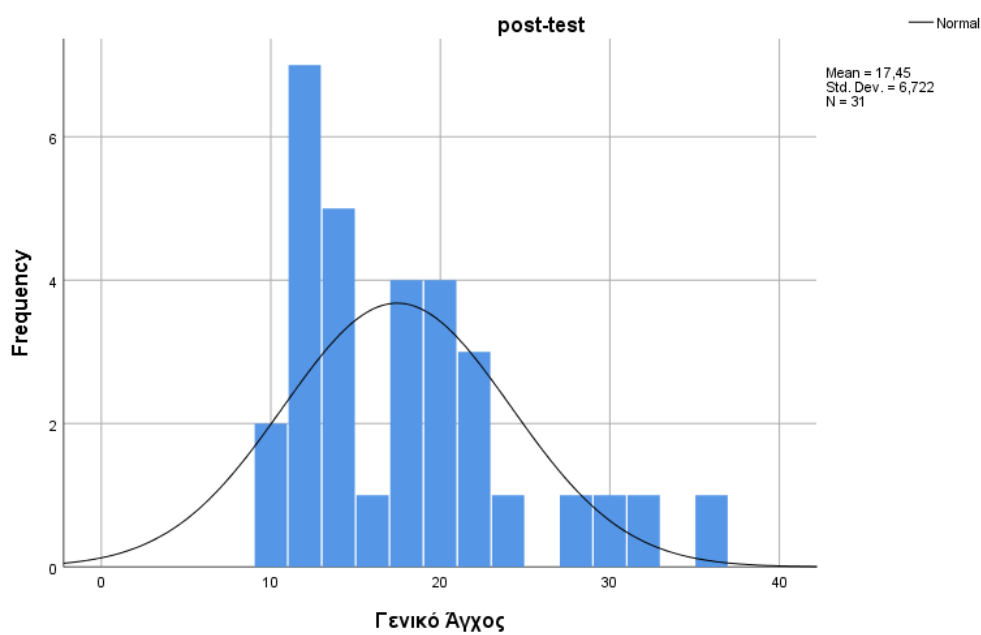
Σχήμα 11: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Γενικό Ενδιαφέρον»



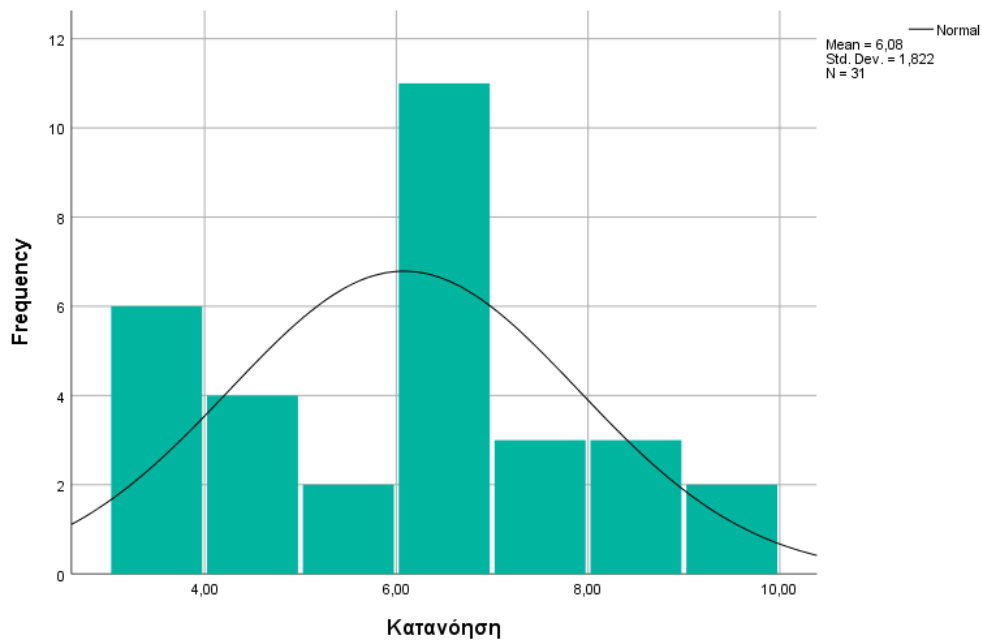
Σχήμα 12: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Γενικό Ενδιαφέρον»



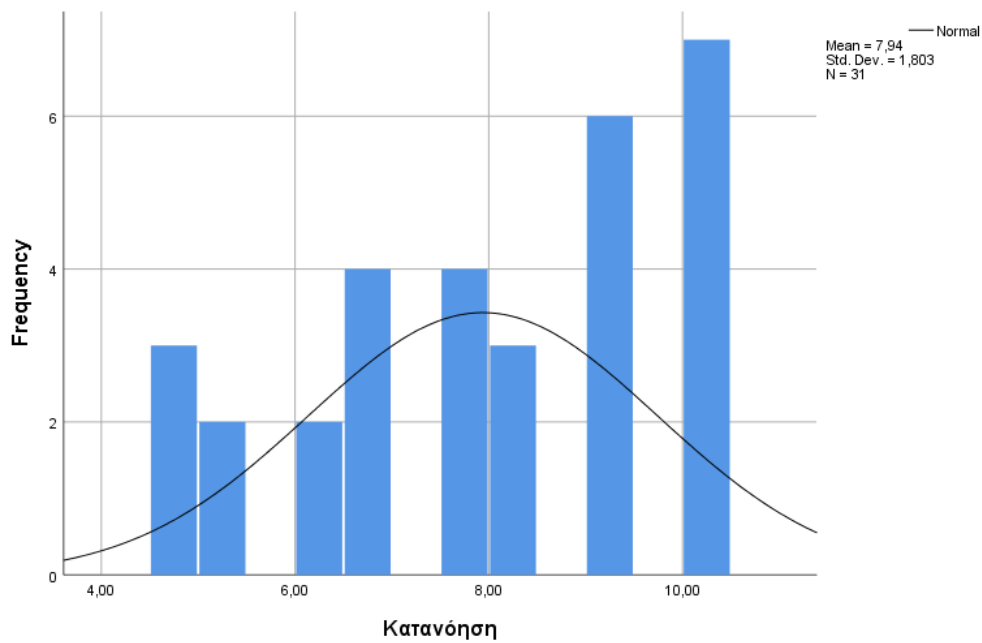
Σχήμα 13: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Γενικό Άγχος»



Σχήμα 14: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Γενικό Άγχος»



Σχήμα 15: Κατανομή απαντήσεων pre-test στην κλίμακα «Κατανόηση»



Σχήμα 16: Κατανομή απαντήσεων post-test στην κλίμακα «Κατανόηση»

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

**Πίνακας 17: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση . Αποτελέσματα ελέγχου Spearman**

| <i>Correlation Coefficient<br/>(pre test)</i> |                            |       |           |
|-----------------------------------------------|----------------------------|-------|-----------|
|                                               |                            | ΑΓΧΟΣ | ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ |
| <b>ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ</b>                             |                            |       |           |
| ΕΚΚΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ<br>ΚΑΡΙΕΡΑΣ ΣΤΙΣ Φ.Ε.          | Correlation<br>Coefficient | -,527 | ,684      |
|                                               | Sig. (2-tailed)            | ,002  | ,000      |
|                                               | N                          | 31    | 31        |
| ΧΡΗΣΗ<br>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ                          | Correlation<br>Coefficient | -,396 | ,456      |
|                                               | Sig. (2-tailed)            | ,027  | ,010      |
|                                               | N                          | 31    | 31        |
| ΣΤΑΔΙΟΔΡΟΜΙΑΣ<br>ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ              | Correlation<br>Coefficient | -,491 | ,414      |
|                                               | Sig. (2-tailed)            | ,005  | ,021      |
|                                               | N                          | 31    | 31        |
| ΓΕΝΙΚΟ                                        | Correlation<br>Coefficient | -,477 | ,534      |
|                                               | Sig. (2-tailed)            | ,007  | ,002      |
|                                               | N                          | 31    | 31        |
| ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ                                     | Correlation<br>Coefficient | -,420 |           |
|                                               | Sig. (2-tailed)            | ,019  |           |
|                                               | N                          | 31    |           |

**Πίνακας 18: Συσχέτιση εργαλείων άγχους και ενδιαφέροντος με την κατανόηση . Αποτελέσματα ελέγχου Spearman**

| Correlation Coefficient<br>( <i>post test</i> ) |                         | ΑΓΧΟΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ |             |
|-------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------|
| ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ                                      |                         |                 |             |
| ΕΚΚΜΑΘΗΣΗΣ ΚΑΙ<br>ΚΑΡΙΕΡΑΣ ΣΤΙΣ Φ.Ε.            | Correlation Coefficient | -,337           | ,401        |
|                                                 | Sig. (2-tailed)         | ,064            | <b>,025</b> |
|                                                 | N                       | 31              | 31          |
| ΧΡΗΣΗ<br>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ                            | Correlation Coefficient | -,127           | ,499        |
|                                                 | Sig. (2-tailed)         | ,497            | <b>,004</b> |
|                                                 | N                       | 31              | 31          |
| ΣΤΑΔΙΟΔΡΟΜΙΑΣ<br>ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                | Correlation Coefficient | -,261           | ,310        |
|                                                 | Sig. (2-tailed)         | ,156            | ,090        |
|                                                 | N                       | 31              | 31          |
| ΓΕΝΙΚΟ                                          | Correlation Coefficient | -,269           | ,440        |
|                                                 | Sig. (2-tailed)         | ,144            | <b>,013</b> |
|                                                 | N                       | 31              | 31          |
| ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ                                       | Correlation Coefficient | -,221           |             |
|                                                 | Sig. (2-tailed)         | ,231            |             |
|                                                 | N                       | 31              |             |

**Πίνακας 19: Σύγκριση μεταξύ του ενδιαφέροντος και του φύλου. Αποτελέσματα ελέγχου Anova**

| <b>Pre test</b>                  | <b>Φύλο</b> | <b>N</b> | <b>M.O.</b>  | <b>T.A.</b> | <b><math>F_{(1,30)}</math></b> | <b>p-value</b> |
|----------------------------------|-------------|----------|--------------|-------------|--------------------------------|----------------|
| ΕΚΚΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΡΙΕΡΑ ΣΤΙΣ Φ.Ε.  | Γυναίκα     | 24       | 24,25        | 4,848       | 0,219                          | ,634           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 23,14        | 7,515       |                                |                |
| ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ                | Γυναίκα     | 24       | 19,25        | 3,193       | ,011                           | ,917           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 19,43        | 6,106       |                                |                |
| ΣΤΑΔΙΟΔΡΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ     | Γυναίκα     | 24       | 19,67        | 4,061       | ,500                           | ,445           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 21,00        | 5,477       |                                |                |
| ΓΕΝΙΚΟ                           | Γυναίκα     | 24       | 10,187       | 10,187      | ,106                           | ,747           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 18,037       | 18,037      |                                |                |
| <b>Post test</b>                 | <b>Φύλο</b> | <b>N</b> | <b>M.O.</b>  | <b>T.A.</b> | <b><math>F_{(1,30)}</math></b> | <b>p-value</b> |
| ΕΚΚΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΡΙΕΡΑΣ ΣΤΙΣ Φ.Ε. | Γυναίκα     | 24       | 25,60        | 4,655       | 5,404                          | ,027           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 30,50        | 4,550       |                                |                |
| ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ                | Γυναίκα     | 24       | 20,44        | 2,615       | 7,313                          | <b>,011</b>    |
|                                  | Αντρας      | 7        | <b>23,50</b> | 1,761       |                                |                |
| ΣΤΑΔΙΟΔΡΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ     | Γυναίκα     | 24       | 21,52        | 3,776       | 16,440                         | ,000           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 28,17        | 2,639       |                                |                |
| ΓΕΝΙΚΟ                           | Γυναίκα     | 24       | 67,56        | 9,363       | 1,289                          | .265           |
|                                  | Αντρας      | 7        | 81,83        | 7,521       |                                |                |

**Πινάκας 20: Σύγκριση μεταξύ του ενδιαφέροντος και της κατεύθυνσης.  
Αποτελέσματα ελέγχου Ανοva**

| Pre test                            | Κατεύθυνση  | N  | M.O.         | T.A.   | $F_{(1,30)}$ | p-value     |
|-------------------------------------|-------------|----|--------------|--------|--------------|-------------|
| ΕΚΚΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ<br>ΚΑΡΙΕΡΑ ΣΤΙΣ Φ.Ε.  | Θετική      | 7  | <b>28,00</b> | 5,323  | 3,497        | <b>,044</b> |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 21,93        | 4,008  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 24,33        | 6,265  |              |             |
| ΧΡΗΣΗ<br>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ                | Θετική      | 7  | 20,43        | 3,505  | ,407         | ,670        |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 19,13        | 3,623  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 18,67        | 4,848  |              |             |
| ΣΤΑΔΙΟΔΡΟΜΙΑ ΣΤΗΝ<br>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ     | Θετική      | 7  | 20,86        | 4,634  | ,378         | ,689        |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 19,27        | 3,453  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 20,44        | 5,681  |              |             |
| ΓΕΝΙΚΟ                              | Θετική      | 7  | 65,43        | 15,884 | ,342         | ,713        |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 60,93        | 8,345  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 63,44        | 14,842 |              |             |
| Post test                           | Κατεύθυνση  | N  | M.O.         | T.A.   | $F_{(1,30)}$ | p-value     |
| ΕΚΚΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ<br>ΚΑΡΙΕΡΑΣ ΣΤΙΣ Φ.Ε. | Θετική      | 7  | <b>30,63</b> | 4,565  | 8,881        | <b>,001</b> |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 23,23        | 3,855  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 27,60        | 3,777  |              |             |
| ΧΡΗΣΗ<br>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ                | Θετική      | 7  | 21,38        | 3,249  | 0,804        | ,457        |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 20,31        | 2,898  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 21,70        | 2,058  |              |             |
| ΣΤΑΔΙΟΔΡΟΜΙΑ ΣΤΗΝ<br>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ     | Θετική      | 7  | 23,38        | 4,955  | 3,654        | <b>,039</b> |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 20,62        | 3,664  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | <b>25,20</b> | 3,882  |              |             |
| ΓΕΝΙΚΟ                              | Θετική      | 7  | <b>75,13</b> | 11,581 | 4,745        | <b>,017</b> |
|                                     | Θεωρητική   | 15 | 64,15        | 9,254  |              |             |
|                                     | Τεχνολογική | 9  | 74,50        | 7,835  |              |             |