



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΑΓΩΓΗΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**ΠΜΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Εξετάζοντας την επίδραση της διδακτικής τεχνολογίας σε δράσεις ενίσχυσης του
επιστημονικού εγγραμματισμού μαθητών/τριών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης:
Μια παρέμβαση σε μαθητές/τριες ΣΤ' Δημοτικού*

Χρήστος Βάρφης

Επιβλέπων: Αναστάσιος Εμβαλωτής, Καθηγητής

Ιωάννινα, Αύγουστος, 2025

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Ιωάννινα, 29/08/2025

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής
Αναστάσιος Εμβαλωτής,
Καθηγητής Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
2. Μέλος επιτροπής
Αναστάσιος Μικρόπουλος,
Καθηγητής Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
3. Μέλος επιτροπής
Γεώργιος Στύλος,
ΕΔΙΠ Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου
Ιωαννίνων

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εκ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Βάρφης Χρήστος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά την επίδραση τριών διαφορετικών διδακτικών τεχνολογικών προσεγγίσεων —της Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ), των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας— σε δράσεις οι οποίες αφορούν την βελτίωση του επιστημονικού εγγραμματισμού μαθητών/τριών της ΣΤ΄ Δημοτικού, εστιάζοντας στη διδασκαλία του φυτικού και του ζωικού κυττάρου. Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η συγκριτική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προαναφερθεισών μεθόδων στις τρεις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού (καλλιέργεια γνώσεων περιεχομένου, κατανόηση των επιστημονικών διαδικασιών και κατανόηση της φύσης της επιστήμης). Με τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας οι οποίες βασίζονται στην παθητική μάθηση, όπου δύναται να περιοριστεί η εμπλοκή των μαθητών/τριών, η παρούσα έρευνα εξετάζει τις δυνατότητες της ΕΠ και των προσομοιώσεων, οι οποίες προσφέρουν πιο διαδραστικές και καθηλωτικές μαθησιακές εμπειρίες. Για τη μελέτη εφαρμόστηκε ένα πειραματικό σχέδιο με τρεις ομάδες μαθητών/τριών που διδάχθηκαν την ίδια θεματική ενότητα με διαφορετικά μέσα. Πραγματοποιήθηκε προ-τεστ και μετα-τεστ με τη χρήση ενός εργαλείου αξιολόγησης του επιστημονικού εγγραμματισμού. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σημαντικές διαφορές υπέρ της χρήσης της ΕΠ, η οποία φάνηκε να ενισχύει περισσότερο την κατανόηση σύνθετων εννοιών και την ενεργή εμπλοκή των μαθητών. Τα ευρήματα στοχεύουν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις πιο αποτελεσματικές παιδαγωγικές προσεγγίσεις για την προώθηση μιας βαθύτερης κατανόησης σύνθετων βιολογικών εννοιών, συμβάλλοντας στον συνεχιζόμενο διάλογο αναφορικά με την ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών στην εκπαίδευση. Τελικά, η παρούσα εργασία επιδιώκει να ενημερώσει τους εκπαιδευτικούς και τους δημιουργούς προγραμμάτων σπουδών σχετικά με την αξιοποίηση της ΕΠ και των προσομοιώσεων για τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και της εμπλοκής τους στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών. Η μελέτη καταλήγει ότι οι καινοτόμες τεχνολογικές προσεγγίσεις μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της ποιότητας της επιστημονικής εκπαίδευσης στο Δημοτικό Σχολείο, υπό την προϋπόθεση ότι ενσωματώνονται με παιδαγωγικά τεκμηριωμένο τρόπο.

Λέξεις-κλειδιά: : Επαυξημένη πραγματικότητα, εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, συμβατική διδασκαλία, επιστημονικός εγγραμματισμός, φυτικό κύτταρο, ζωικό κύτταρο.

ABSTRACT

This paper investigates the impact of three different teaching technology approaches—Augmented Reality (AR), educational simulations, and conventional teaching—on actions that concern the improvement of scientific literacy of sixth grade students, focusing on the teaching of plant and animal cells. The aim of this paper is to comparatively evaluate the effectiveness of the aforementioned methods in the three dimensions of scientific literacy (cultivation of content knowledge, understanding of scientific processes, and understanding of the nature of science). With conventional teaching methods that are based on passive learning, where student engagement may be limited, this research examines the potential of AR and simulations, which offer more interactive and immersive learning experiences. An experimental design was applied for the study with three groups of students who were taught the same thematic unit with different media. A pre-test and post-test were conducted using a scientific literacy assessment tool. The results revealed significant differences in favor of the use of EP, which appeared to enhance more the understanding of complex concepts and the active engagement of students. The findings aim to provide information on the most effective pedagogical approaches to promote a deeper understanding of complex biological concepts, contributing to the ongoing dialogue regarding the integration of innovative technologies in education. Ultimately, the present work seeks to inform teachers and curriculum designers about the use of EP and simulations to improve learning outcomes and their engagement in science education. The study concludes that innovative technological approaches can contribute substantially to improving the quality of science education in primary school, provided that they are integrated in a pedagogically evidence-based manner.

Keywords: : Augmented reality, educational simulations, conventional teaching, scientific literacy, plant cell, animal cell.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
1 Εισαγωγή	8
1.1 Σύντομη παρουσίαση του θέματος.....	8
1.2 Αντικείμενο και σκοπός της έρευνας	9
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα	12
1.4 Δομή της εργασίας	13
2 Θεωρητικό πλαίσιο	14
2.1 Ορισμός και διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού	14
2.2 Εργαλεία μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού	38
2.3 Επαυξημένη Πραγματικότητα στην εκπαίδευση: Έννοιες και δυνατότητες	45
2.4 Εκπαιδευτικές προσομοιώσεις: ορισμός, τύποι, παιδαγωγική αξιοποίηση	49
2.5 Συμβατική διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες	51
3 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....	60
3.1 Επίδραση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στον επιστημονικό εγγραμματισμό.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
3.2 Επίδραση των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στον επιστημονικό εγγραμματισμό.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
3.3 Επίδραση των συμβατικών διδακτικών μεθόδων στον επιστημονικό εγγραμματισμό.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
3.4 Ερευνητικό κενό	99
4 Μεθοδολογία	103
4.1 Θεματική ανάλυση ποιοτικών δεδομένων	103
4.2 Ανάλυση απαντήσεων μαθητών ΣΤ΄ Δημοτικού σε ερωτήσεις ανοικτού τύπου για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα.....	105
4.3 Ποσοτική ανάλυση	106
4.4 Ερευνητικός σχεδιασμός.....	109

4.5	Ανάπτυξη και στάθμιση ερωτηματολογίου για την επίδραση της διδακτικής τεχνολογίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό μαθητών δημοτικού	113
4.6	Εγκυρότητα και αξιοπιστία του ερευνητικού εργαλείου	115
4.7	Συνοπτική ερμηνεία και συμπεράσματα	119
4.8	Πληθυσμός	120
4.9	Δείγμα	121
4.10	Διαδικασία επιλογής σχολείων και τάξεων	121
4.11	Εκπαίδευση εκπαιδευτικών	122
4.12	Περιγραφή των διδακτικών παρεμβάσεων	123
4.13	Ηθικές θεωρήσεις	147
5	Αποτελέσματα	147
5.1	Ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά ομάδα και συγκριτική εξέταση	147
5.2	Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων έρευνας	152
5.3	Συγκριτική ανάλυση ομάδων	154
5.4	Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) – Σύγκριση ομάδων	155
5.5	Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων	157
5.6	Συμπεράσματα και εκπαιδευτικές προτάσεις	158
5.7	Ανάλυση και παιδαγωγικές προεκτάσεις της έρευνας	158
5.8	Συσχέτιση με τη βιβλιογραφία	160
5.9	Ανίχνευση εναλλακτικών ιδεών και παρανοήσεων	160
5.10	Παιδαγωγικές και διδακτικές προεκτάσεις	161
6	Συμπεράσματα	162
6.1	Συζήτηση βασικών ευρημάτων σε σχέση με τη βιβλιογραφία	162
6.2	Προκλήσεις	165
6.3	Αντιμετώπιση προκλήσεων	169
6.4	Σύνοψη των κύριων ευρημάτων και η σημασία τους	171
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	178
	Σχέδιο μαθήματος με τη χρήση συμβατικής διδασκαλίας	178

Παράρτημα 2	180
Παράρτημα 3	183
Παράρτημα 4	185
Παράρτημα 5	187
Παράρτημα 6.....	190
Πίνακας 1.1	229
AR	229
Πίνακας 1.2 Προσομοίωση	230
Πίνακας 1.3 Συμβατική Διδασκαλία.....	231
Πίνακας 2.1 ANOVA.....	232
Πίνακας 2.2 ANOVA.....	232
Πίνακας 2.3 ANOVA.....	233

1 Εισαγωγή

1.1 Σύντομη παρουσίαση του θέματος

Η παρούσα ερευνητική εργασία εξετάζει τη συγκριτική επίδραση της επαυξημένης πραγματικότητας (ΕΠ), των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας, στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών/τριών της ΣΤ΄ τάξης του δημοτικού σχολείου. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε η διδασκαλία της δομής και λειτουργίας του φυτικού και του ζωικού κυττάρου, ενός γνωστικού αντικειμένου που συχνά παρουσιάζει δυσκολίες κατανόησης λόγω του αφηρημένου και μικροσκοπικού χαρακτήρα του (Osborne & Dillon, 2008).

Η έρευνα υιοθετεί έναν πειραματικό σχεδιασμό με τρεις ομάδες μαθητών/τριων, καθεμία εκ των οποίων διδάσκεται το ίδιο περιεχόμενο μέσω διαφορετικής διδακτικής προσέγγισης:

- Η πρώτη ομάδα διδάσκεται με τη χρήση τεχνολογίας ΕΠ, η οποία επιτρέπει την προβολή τρισδιάστατων ψηφιακών μοντέλων μέσα στον φυσικό χώρο του χρήστη.
- Η δεύτερη ομάδα χρησιμοποιεί εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, κυρίως λογισμικά που παρέχουν ψηφιακές αναπαραστάσεις και αλληλεπιδράσεις.
- Η τρίτη ομάδα ακολουθεί παραδοσιακή διδασκαλία, βασισμένη στο σχολικό εγχειρίδιο, στον πίνακα και σε συμβατικά εποπτικά μέσα.

Η αξιολόγηση επικεντρώνεται στην επίδοση των μαθητών στις τρεις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού:

1. Κατανόηση επιστημονικού περιεχομένου (scientific content knowledge),
2. Κατανόηση των διαδικασιών της επιστήμης (scientific inquiry),
3. Κατανόηση της φύσης της επιστήμης (nature of science)

Η μελέτη φιλοδοξεί να συνεισφέρει στην εκπαιδευτική έρευνα, παρέχοντας εμπειρικά τεκμηριωμένες ενδείξεις σχετικά με την παιδαγωγική αποτελεσματικότητα της ΕΠ και των προσομοιώσεων στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στο δημοτικό σχολείο. Τα ευρήματα αναμένεται να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση των διδακτικών πρακτικών, ενθαρρύνοντας τη στοχευμένη αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών στη σχολική τάξη (Bybee, 1997).

1.2 Αντικείμενο και σκοπός της έρευνας

Ο επιστημονικός εγγραμματισμός, η ικανότητα κατανόησης και εφαρμογής της επιστημονικής γνώσης σε πραγματικές καταστάσεις, αποτελεί κρίσιμο στόχο της σύγχρονης εκπαίδευσης (Petrov & Atanasova, 2020). Περιλαμβάνεται η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, η εκτίμηση της επιστημονικής μεθόδου, η κριτική αξιολόγηση των επιστημονικών πληροφοριών και η αναγνώριση της επιρροής της επιστήμης στην κοινωνία (Alarcón et al., 2023). Η αποτελεσματική επιστημονική εκπαίδευση θα πρέπει να εξοπλίζει τους μαθητές με τις απαραίτητες δεξιότητες, ώστε να αναλύουν δεδομένα, να λύνουν προβλήματα και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με ζητήματα τα οποία σχετίζονται με την επιστήμη (Vieira & Tenreiro-Vieira, 2014). Οι παραδοσιακές μέθοδοι βασίζονται συχνά σε διαλέξεις, εγχειρίδια και εργαστηριακά πειράματα. Έτσι, ενώ οι προσεγγίσεις αυτές μπορεί να

είναι αποτελεσματικές για ορισμένους μαθητές/τριες, ενδέχεται να μην εμπλέκουν πλήρως όλοι οι μαθητές/τριες ή να μην καλύπτουν διαφορετικά στυλ μάθησης (Yamin et al., 2019). Προκειμένου να αρθούν αυτοί οι περιορισμοί, οι εκπαιδευτικοί εξερευνούν ολοένα και περισσότερο καινοτόμα παιδαγωγικά εργαλεία όπως η ΕΠ και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις για να ενισχυθεί τόσο η επιστημονικής εκπαίδευση και η ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού (Howes et al., 2008).

Η ΕΠ επικαλύπτει εικόνες που δημιουργούνται από υπολογιστή στον πραγματικό κόσμο, δημιουργώντας διαδραστικές και καθηλωτικές μαθησιακές εμπειρίες (Agora & Chauhan, 2021). Η τεχνολογία αυτή δύναται να ζωντανέψει αφηρημένες επιστημονικές έννοιες, επιτρέποντας στους μαθητές να οπτικοποιήσουν σύνθετες δομές και διαδικασίες με έναν απτό και ελκυστικό τρόπο (Killian et al., 2014). Οι ψηφιακές εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούν υπολογιστικά μοντέλα ώστε να αναπαράγουν φαινόμενα του πραγματικού κόσμου, επιτρέποντας στους/στις μαθητές/τριες να εξερευνήσουν επιστημονικές έννοιες σε ένα ελεγχόμενο και ένα ασφαλές περιβάλλον. Η ΕΠ και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις παρέχουν στους/στις μαθητές/τριες ευκαιρίες να ελέγχουν μεταβλητές, να παρατηρούν αποτελέσματα και να αναπτύσσουν μια βαθύτερη κατανόηση των σχέσεων αιτίας-αποτελέσματος (Agora & Chauhan, 2021). Επίσης, οι προαναφερθείσες τεχνολογίες μπορούν να προωθήσουν την ενεργητική μάθηση, την επίλυση προβλημάτων και τις δεξιότητες κριτικής σκέψης (Roméro, 2019). Επιπλέον, οι διαδραστικές προσομοιώσεις παρουσιάζουν μια νέα προσέγγιση στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών, προσφέροντας ανεκμετάλλευτες ευκαιρίες για βελτίωση της κατανόησης και της εμπλοκής, αντιμετωπίζοντας την κοινή αποτυχία των παραδοσιακών μαθημάτων των φυσικών επιστημών να μεταφέρουν αποτελεσματικά τις επιστημονικές έννοιες με αποτέλεσμα να καταστέλλεται το ενδιαφέρον των μαθητών (Wieman & Perkins, 2006).

Η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών έχει δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στην ενίσχυση της κατανόησης σύνθετων εννοιών από τους/τις μαθητές/τριες, ιδιαίτερα σε τομείς όπως η βιολογία, όπου η οπτικοποίηση είναι ζωτικής σημασίας (Piila et al., 2021). Επί παραδείγματι, οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν εργαλεία μοντελοποίησης ΕΠ για να δημιουργήσουν τρισδιάστατα σχέδια, πρωτότυπα ή αρχιτεκτονικά μοντέλα, εξερευνώντας έννοιες στο σχεδιασμό, τη

μηχανική ή την ψηφιακή κατασκευή (Palada et al., 2024). Οι εφαρμογές ΕΠ επιτρέπουν στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με εφαρμογές εικονικού και πραγματικού χρόνου, παρέχοντας φυσικές εμπειρίες (Sarode et al., 2019). Η ΕΠ φέρνει επανάσταση στην εκπαίδευση παρέχοντας καθηλωτικές, διαδραστικές και συναρπαστικές μαθησιακές εμπειρίες, επιτρέποντας καλύτερη διατήρηση γνώσεων και ανάπτυξη δεξιοτήτων στους τομείς STEM, ιατρικής, εκμάθησης γλωσσών αλλά και της ειδικής αγωγής (Thangavel, 2025). Η εφαρμογή της ΕΠ στη μάθηση της βιολογίας αναμένεται να συμβάλει στην καινοτομία και να προσθέσει παραλλαγές στα υπάρχοντα μαθησιακά μέσα. Από τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη, διαπιστώθηκε ότι η τεχνολογία της ΕΠ έλαβε πολλές θετικές αντιδράσεις στην εφαρμογή της στον κόσμο της εκπαίδευσης. Η ΕΠ μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό, όπως το 3D Blender, το Unity, το ArTutor4 και άλλο υποστηρικτικό λογισμικό. Με την εφαρμογή της τεχνολογίας της ΕΠ στον κόσμο της εκπαίδευσης αναμένεται να είναι δυνατή η προσθήκη μεθόδων μάθησης οι οποίες ενδέχεται να είναι πιο διαδραστικές και ενδιαφέρουσες (Erwinsah et al., 2019).

Ο αντίκτυπος της ΕΠ, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού δύναται να αξιολογηθεί μέσω μιας μελέτης περίπτωσης η οποία εστιάζει στα φυτικά και ζωικά κύτταρα. Τα φυτικά και ζωικά κύτταρα είναι θεμελιώδη δομικά στοιχεία της ζωής και η κατανόηση της δομής και της λειτουργίας τους είναι απαραίτητη για τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας της κυτταρικής βιολογίας συχνά περιλαμβάνουν διαγράμματα, μικροσκόπια και προετοιμασμένες διαφάνειες. Οι εφαρμογές ΕΠ μπορούν να παρέχουν στους μαθητές διαδραστικά τρισδιάστατα μοντέλα φυτικών και ζωικών κυττάρων, επιτρέποντάς τους να εξερευνήσουν λεπτομερώς τα διαφορετικά οργάνιδια και τις λειτουργίες τους (Yulianti et al., 2021). Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις μπορούν να αναπαράγουν κυτταρικές διεργασίες όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή, επιτρέποντας στους μαθητές να χειρίζονται μεταβλητές και να παρατηρούν τις επιπτώσεις στη λειτουργία των κυττάρων. Συγκρίνοντας τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών/τριών οι οποίοι/ες μαθαίνουν για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα μέσω της ΕΠ, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και των συμβατικών μεθόδων διδασκαλίας, οι ερευνητές μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα αυτών των διαφορετικών προσεγγίσεων όσον αφορά την

ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού. Η ΕΠ μπορεί να συνδυαστεί με την κινητή μάθηση για τη δημιουργία μικτών περιβαλλόντων μάθησης, όπως για παράδειγμα οι εφαρμογές για κινητά οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να διδάσκουν τη δομή και τη λειτουργία των ζωικών κυττάρων συγχωνεύοντας εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα (Rahmi et al., 2021). Η μελέτη των εργαλείων διδασκαλίας που βασίζονται στην ΕΠ αποκαλύπτει ότι βελτιώνονται σημαντικά τα μαθησιακά επιτεύγματα των μαθητών και αυξάνουν το κίνητρό τους να ασχοληθούν με την έρευνα των φυσικών επιστημών, υποδεικνύοντας την ικανότητα της ΕΠ να κάνει την εκπαίδευση στις θετικές επιστήμες πιο ευχάριστη και αποτελεσματική (Shankar, 2023). Οι εφαρμογές ΕΠ βελτιώνουν τη μάθηση επιτρέποντας στους μαθητές να οπτικοποιούν σύνθετες χωρικές σχέσεις και αφηρημένες έννοιες, καθιστώντας την ένα πολύτιμο εργαλείο στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Zhang et al., 2020). Η ΕΠ προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία να συνδυαστούν ο φυσικός και ο εικονικός κόσμος, λειτουργώντας διαδραστικά και σε πραγματικό χρόνο για την ευθυγράμμιση πραγματικών και εικονικών αντικειμένων, εμπλέκοντας έτσι τους μαθητές μέσω ήχου, οπτικοποίησης και κινούμενων σχεδίων για να κάνουν την επιστήμη ένα συναρπαστικό μάθημα (Quintero et al., 2019).

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Η διαρκώς εξελισσόμενη τεχνολογία έχει εισάγει νέους τρόπους μάθησης στην εκπαίδευση, μετασχηματίζοντας τον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας. Η ΕΠ αναδεικνύεται ως ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση πολύπλοκων επιστημονικών εννοιών, όπως η δομή και η λειτουργία των κυττάρων. Στην παρούσα έρευνα, επιδιώκεται να διερευνηθεί ο ρόλος της ΕΠ, των εκπαιδευτικών ψηφιακών προσομοιώσεων και της συμβατικής μεθόδου στη διδασκαλία της κυτταρικής βιολογίας, καθώς και να αξιολογηθεί η επίδρασή τους στην ανάπτυξη επιστημονικών δεξιοτήτων και αντιλήψεων των μαθητών/τριών.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούν αυτή τη μελέτη είναι:

- Ποια είναι η επίδραση της διδασκαλίας με τη χρήση ΕΠ στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών/τριών (όσον αφορά το περιεχόμενο, τις διαδικασίες και τη φύση της επιστήμης);
- Ποια είναι η επίδραση της διδασκαλίας με τη χρήση ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των

μαθητών/τριων (όσον αφορά το περιεχόμενο, τις διαδικασίες και τη φύση της επιστήμης);

- Ποια είναι η επίδραση της συμβατικής διδασκαλίας στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών/τριων (όσον αφορά το περιεχόμενο, τις διαδικασίες και τη φύση της επιστήμης);
- Υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών/τριων (στις τρεις διαστάσεις) ανάμεσα στις ομάδες της ΕΠ, των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας;

1.4 Δομή της εργασίας

Η παρούσα μελέτη διερευνά την επίδραση της ΕΠ, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών/τριών, με επίκεντρο τη διδασκαλία των φυτικών και ζωικών κυττάρων. Υιοθετώντας έναν πειραματικό σχεδιασμό με ποσοτικές μεθόδους, η έρευνα αποκαλύπτει ότι οι τεχνολογικές προσεγγίσεις, ιδιαίτερα η ΕΠ, υπερέχουν στη βελτίωση της κατανόησης και της ενεργού συμμετοχής των μαθητών συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ο επιστημονικός εγγραμματισμός, ως η ικανότητα κατανόησης εννοιών, ερμηνείας δεδομένων και λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων, αποτελεί βασικό στόχο της σύγχρονης εκπαίδευσης, ιδιαίτερα σε αφηρημένα πεδία όπως η βιολογία. Οι τεχνολογικές καινοτομίες, όπως η ΕΠ με δυνατότητες αφής και εξερεύνησης τρισδιάστατων μοντέλων, καθώς και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις που προσομοιώνουν εικονικά εργαστήρια, προσφέρουν νέες διδακτικές δυνατότητες σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους (διαλέξεις, μικροσκόπηση). Στην παρούσα μελέτη συμμετείχαν περίπου 120 μαθητές Δημοτικού, χωρισμένοι σε τρεις ομάδες (ΕΠ, εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, συμβατική διδασκαλία), οι οποίοι διδάχθηκαν τη δομή και τις λειτουργίες των οργανιδίων του κυττάρου μέσω διαφορετικών μέσων (εφαρμογή ArTutor4, λογισμικό Φωτόδεντρο, Learn Genetics, παραδοσιακά εργαλεία). Η αξιολόγηση έγινε μέσω προ-τεστ και μετα-τεστ, ερωτηματολογίων και παρατηρήσεων, ενώ τα δεδομένα αναλύθηκαν με στατιστικές δοκιμές και θεματική ανάλυση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ομάδα ΕΠ παρουσίασε τη μεγαλύτερη βελτίωση, υψηλά επίπεδα εμπλοκής και θετικά σχόλια για την κατανόηση μέσω τρισδιάστατων μοντέλων. Αντίθετα, η παραδοσιακή διδασκαλία παρείχε σταθερή αλλά

λιγότερο διαδραστική εμπειρία. Συνολικά, η ΕΠ αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική λόγω της αίσθησης παρουσίας και φυσικής αλληλεπίδρασης, ενώ η μελέτη προτείνει την υιοθέτηση υβριδικού μοντέλου διδασκαλίας και τονίζει την ανάγκη για τεχνολογική υποδομή και επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Το συμπέρασμα της έρευνας είναι ότι οι τεχνολογικές μέθοδοι, ιδίως η ΕΠ, ενισχύουν σημαντικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό σε πολύπλοκες θεματικές ενότητες, με τις μελλοντικές μελέτες να καλούνται να διερευνήσουν τη μακροπρόθεσμη επίδραση και την οικονομική βιωσιμότητά τους στην εκπαίδευση.

2 Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Ορισμός του επιστημονικού εγγραμματισμού

Ο επιστημονικός εγγραμματισμός, μια πολύπλευρη έννοια, εκτείνεται πολύ πέρα από την απλή απόκτηση επιστημονικών δεδομένων και αρχών. Ενσαρκώνει την ικανότητα ενασχόλησης με την επιστημονική γνώση με ουσιαστικό και ενημερωμένο τρόπο στα πλαίσια της καθημερινής ζωής. Περιλαμβάνει την ικανότητα όχι μόνο κατανόησης των επιστημονικών εννοιών, αλλά και κριτικής εφαρμογής τους στην επίλυση προβλημάτων, τη λήψη αποφάσεων και τη συμμετοχή στα κοινά (Artayasa et al., 2021). Ο επιστημονικός εγγραμματισμός δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να κατανοούν και να ερμηνεύουν τις επιστημονικές πληροφορίες, να αξιολογούν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους και να τις χρησιμοποιούν για να σχηματίζουν απόψεις βασισμένες σε τεκμήρια και να κάνουν ορθές κρίσεις σχετικά με ζητήματα που σχετίζονται με την επιστήμη (Hallman, 2017). Έτσι, συνεπάγεται την κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου, της φύσης της επιστημονικής έρευνας και του ρόλου των τεκμηρίων στην υποστήριξη επιστημονικών ισχυρισμών (Maienschein, 1998). Επιπλέον, ο επιστημονικός εγγραμματισμός εξοπλίζει τα άτομα με τις δεξιότητες για να επικοινωνούν αποτελεσματικά για την επιστήμη, να συμμετέχουν σε τεκμηριωμένες συζητήσεις για επιστημονικά θέματα και να εκτιμούν τον ρόλο της επιστήμης στη διαμόρφωση του κόσμου μας (Turiman et al., 2012).

Η επίτευξη του επιστημονικού εγγραμματισμού είναι ζωτικής σημασίας στη σύγχρονη κοινωνία, όπου η επιστήμη και η τεχνολογία ασκούν ολοένα και μεγαλύτερη επιρροή σε διάφορες πτυχές της ζωής μας. Δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να εξερευνούν την

πολυπλοκότητα ενός κόσμου που είναι κορεσμένος με επιστημονικές εξελίξεις, να συμμετέχουν ενεργά σε δημοκρατικές διαδικασίες που σχετίζονται με την επιστήμη και την τεχνολογία και να κάνουν ενημερωμένες επιλογές σχετικά με την υγεία, το περιβάλλον και την ευημερία τους. Ο επιστημονικός εγγραμματισμός χρησιμεύει ως ζωτική γέφυρα μεταξύ της επιστημονικής γνώσης και των πρακτικών εφαρμογών της, καλλιεργώντας μια βαθύτερη κατανόηση της διασύνδεσης μεταξύ επιστήμης και κοινωνίας (Snow & Dibner, 2016). Επιπλέον, η καλλιέργεια του επιστημονικού εγγραμματισμού συμβάλλει στην ανάπτυξη βασικών δεξιοτήτων του 21ου αιώνα, όπως η κριτική σκέψη, η επίλυση προβλημάτων, η επικοινωνία και η συνεργασία, οι οποίες εκτιμώνται ιδιαίτερα τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε επαγγελματικό περιβάλλον. Η σημασία του επιστημονικού εγγραμματισμού υπογραμμίζεται από τον ρόλο του στην ενίσχυση της περιέργειας, της πρωτοβουλίας, της επιμονής, της προσαρμοστικότητας, της ηγεσίας και της κοινωνικής και πολιτιστικής ευαισθητοποίησης. Ο επιστημονικός εγγραμματισμός θεωρείται μία από τις βασικές δεξιότητες που απαιτούνται στην ψηφιακή εποχή, ξεπερνώντας την ακαδημαϊκή αριστεία και επιτρέποντας στα άτομα να ευδοκιμήσουν σε έναν ταχέως εξελισσόμενο κόσμο (Turiman et al., 2012).

Ο επιστημονικός εγγραμματισμός δεν είναι μια μονολιθική οντότητα, αλλά μάλλον μια σύνθετη κατασκευή που περιλαμβάνει πολλές αλληλένδετες διαστάσεις. Μια κρίσιμη διάσταση είναι η κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και αρχών, η οποία αποτελεί το θεμέλιο για την κατανόηση των επιστημονικών φαινομένων και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Snow & Dibner, 2016). Μια άλλη διάσταση περιλαμβάνει την ικανότητα εφαρμογής της επιστημονικής γνώσης και των δεξιοτήτων συλλογισμού για την επίλυση προβλημάτων, την ανάλυση δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Συνάμα, ο επιστημονικός εγγραμματισμός περιλαμβάνει την εκτίμηση της φύσης της επιστήμης, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων, των περιορισμών της και του ρόλου των αποδεικτικών στοιχείων στην υποστήριξη επιστημονικών ισχυρισμών (Rahmawati et al., 2023). Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η επιστήμη λειτουργεί ως κοινωνική επιχείρηση, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου της συνεργασίας, της αξιολόγησης και των ηθικών ζητημάτων, είναι επίσης απαραίτητη.

Μια άλλη πτυχή εστιάζει στην τεχνολογία και στον τρόπο που σχετίζεται με την επιστημονική εκπαίδευση (Cajas, 2001). Ο επιστημονικός εγγραμματισμός

συνεπάγεται επίσης την ικανότητα αποτελεσματικής επικοινωνίας σχετικά με την επιστήμη, σαφή και συνοπτική διατύπωση επιστημονικών ιδεών και συμμετοχή σε τεκμηριωμένες συζητήσεις σχετικά με επιστημονικά θέματα. Μια σημαντική διάσταση του επιστημονικού εγγραμματισμού είναι η ικανότητα κριτικής αξιολόγησης επιστημονικών πληροφοριών που παρουσιάζονται σε διάφορες μορφές, συμπεριλαμβανομένων ειδησεογραφικών ρεπορτάζ, ιστοσελίδων και διαφημίσεων. Τα άτομα που είναι επιστημονικά εγγράμματα μπορούν να διακρίνουν μεταξύ αξιόπιστων πηγών και παραπληροφόρησης, να εντοπίζουν προκαταλήψεις και λογικά σφάλματα και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες κρίσεις σχετικά με την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των επιστημονικών ισχυρισμών.

Αναγνωρίζοντας τη σημασία του επιστημονικού εγγραμματισμού, τα εκπαιδευτικά συστήματα παγκοσμίως δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στην ανάπτυξή του σε μαθητές όλων των ηλικιών. Ο επιστημονικός εγγραμματισμός, όπως ορίζεται από το PISA, περιλαμβάνει διαστάσεις περιεχομένου, διαδικασίας και πλαισίου (Luzyawati et al., 2023). Οι μεταρρυθμίσεις στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες έχουν επιδιώξει να ξεπεράσουν την παραδοσιακή εστίαση στην μηχανική απομνημόνευση επιστημονικών γεγονότων και να δώσουν έμφαση στη μάθηση που βασίζεται στην έρευνα, στις πρακτικές δραστηριότητες και στις εφαρμογές της επιστημονικής γνώσης στον πραγματικό κόσμο (Alarcón et al., 2023). Ωστόσο, μελέτες αποκαλύπτουν την ανάγκη βελτίωσης του επιστημονικού εγγραμματισμού μεταξύ των μαθητών (Cordon & Polong, 2020). Πολλά προγράμματα σπουδών επιστημών έχουν σχεδιαστεί για να εξοπλίσουν τους μαθητές με την ικανότητα να εφαρμόζουν τις επιστημονικές γνώσεις σε καθημερινές καταστάσεις επίλυσης προβλημάτων (Peniero & Matsuura, 2020). Στόχος είναι η καλλιέργεια μιας επιστημονικά εγγράμματης κοινωνίας πολιτών, ικανής να ασχοληθεί με ζητήματα που σχετίζονται με την επιστήμη με στοχαστικό και ενημερωμένο τρόπο (Bernardo et al., 2023). Επομένως, η προώθηση του επιστημονικού εγγραμματισμού απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια από εκπαιδευτικούς, υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, επιστήμονες και το ευρύ κοινό.

Η παρούσα εργασία εμβαθύνει στην πολύπλευρη έννοια του επιστημονικού εγγραμματισμού, διερευνώντας τους διάφορους ορισμούς του και προτείνοντας έναν ολοκληρωμένο δείκτη για την αξιολόγησή του. Ο επιστημονικός εγγραμματισμός ορίζεται ευρέως ως η ικανότητα κατανόησης επιστημονικών πληροφοριών και

εφαρμογής τους για την αντιμετώπιση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου (Artayasa et al., 2021). Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει την ικανότητα ενός ατόμου να ασχολείται στοχαστικά με επιστημονικά ζητήματα και ιδέες ως πολίτης, κατανοώντας ουσιαστικά τις επιστημονικές έννοιες, εξηγώντας φαινόμενα με βάση στοιχεία και εφαρμόζοντας αυτές τις γνώσεις στην καθημερινή ζωή (Fausan et al., 2021). Συνάμα, περιλαμβάνεται η κατανόηση επιστημονικών μεθόδων, κανόνων και πρακτικών, παράλληλα με την επίγνωση των τρεχουσών ανακαλύψεων και αντιπαραθέσεων που αφορούν την επιστήμη, και τη βελτίωση της ικανότητας κάποιου να κατανοεί και να αξιολογεί τις επιπτώσεις τους (Hallman, 2017). Αυτή η θεμελιώδης κατανόηση είναι κρίσιμη όχι μόνο για την κριτική ερμηνεία των επιστημονικών μέσων, αλλά και για τη συμμετοχή σε λογικό διάλογο σχετικά με την επιστήμη και την τεχνολογία, επιτρέποντας έτσι τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων στην προσωπική και πολιτική ζωή (Snow & Dibner, 2016). Η έννοια του επιστημονικού εγγραμματισμού, που εισήχθη για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1950, έχει εξελιχθεί σημαντικά, αντανakλώντας μια επιθυμητή εξοικείωση με την επιστήμη στο ευρύ κοινό (Sadler, 2006). Αυτός ο εξελισσόμενος ορισμός υπογραμμίζει την πολυσημική φύση του επιστημονικού εγγραμματισμού, που περιλαμβάνει ποικίλες προοπτικές οι οποίες κυμαίνονται από την αφομοίωση του επιστημονικού περιεχομένου και των διαδικασιών έως την εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης για την κοινωνική εμπλοκή και την κριτική παρέμβαση στην καθημερινή πραγματικότητα (Norambuena-Meléndez et al., 2023). Αυτή η ευρεία κατανόηση υπογραμμίζει τη σημασία του ως προϋπόθεση για την κριτική σκέψη και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε διάφορους κοινωνικούς τομείς (Rouf et al., 2021). Πράγματι, κανένας πολίτης δεν μπορεί να θεωρηθεί πραγματικά εγγράμματος με τη σύγχρονη έννοια χωρίς μια θεμελιώδη κατανόηση και εκτίμηση της επιστήμης και των συνεπειών της (Olorundare, 1988). Τονίζεται πως οι επιστημονικές νοητικές συνήθειες είναι απαραίτητες για τα άτομα ώστε να πλοηγούνται με σύνεση σε προβλήματα που αφορούν στοιχεία, ποσοτικές σκέψεις, λογικά επιχειρήματα και αβεβαιότητα (Zeidler et al., 1992). Αυτό εκτείνεται πέρα από την απλή ανάκληση γεγονότων και περιλαμβάνει την ικανότητα κριτικής αξιολόγησης επιστημονικών ισχυρισμών, κατανόησης της επιστημονικής διαδικασίας και αναγνώρισης των κοινωνικών επιπτώσεων των επιστημονικών εξελίξεων (Maienschein, 1998). Αυτή η ολοκληρωμένη άποψη τοποθετεί τον επιστημονικό εγγραμματισμό ως κρίσιμη ικανότητα για την προσωπική λήψη αποφάσεων, την

ενεργό συμμετοχή σε αστικά και πολιτιστικά ζητήματα και τη βιώσιμη οικονομική παραγωγικότητα σε μια τεχνολογικά προηγμένη κοινωνία (Turiman et al., 2012).

Η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των επιστημονικών και τεχνολογικών εξελίξεων απαιτεί οι πολίτες να διαθέτουν θεμελιώδεις επιστημονικές γνώσεις και την ικανότητα να ασχολούνται με σύνθετα επιστημονικά ζητήματα, ώστε να ενισχύουν την ατομική αυτονομία, να διευκολύνουν την αποτελεσματική επικοινωνία και να διαχειρίζονται επιδέξια τις προκλήσεις που θέτει η επιστήμη και η τεχνολογία (Snow & Dibner, 2016). Η σημασία του επιστημονικού εγγραμματισμού έχει υπογραμμιστεί περαιτέρω από την ενσωμάτωσή του στις εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις παγκοσμίως, αναγνωρίζοντάς τον ως θεμελιώδη δεξιότητα για την πλοήγηση σε έναν ολοένα και πιο πολύπλοκο κόσμο (Şadoğlu, 2018). Κατά συνέπεια, η ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού είναι καθοριστική για την προετοιμασία των μαθητών να αντιμετωπίσουν τις εκπαιδευτικές προκλήσεις του 21ου αιώνα και να ασχοληθούν αποτελεσματικά με τις απαιτήσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, όπου η επιστημονική κατανόηση και η κριτική ανάλυση σύνθετων προβλημάτων είναι πρωταρχικής σημασίας (Anggraini et al., 2020). Επιπλέον, ο επιστημονικός εγγραμματισμός αναγνωρίζεται ως βασικό συστατικό των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα, που περιλαμβάνει τη γνώση και την κατανόηση επιστημονικών εννοιών και διαδικασιών που είναι απαραίτητες για την τεκμηριωμένη προσωπική λήψη αποφάσεων, την αποτελεσματική συμμετοχή των πολιτών και την αυξημένη οικονομική παραγωγικότητα (Turiman et al., 2012). Αυτή η ικανότητα είναι ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη του περιβαλλοντικού εγγραμματισμού, καθώς η θεμελιώδης κατανόηση των επιστημονικών αρχών αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση σύνθετων οικολογικών συστημάτων και των ανθρωπογενών επιπτώσεών τους (Syahmani et al., 2021). Επομένως, η καλλιέργεια του επιστημονικού εγγραμματισμού από νεαρή ηλικία είναι απαραίτητη για την καλλιέργεια μιας κοινωνίας πολιτών ικανής να αντιμετωπίσει τις σύγχρονες παγκόσμιες προκλήσεις (Marsari & Rifma, 2023). Επιπλέον, η ενίσχυση των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης μέσω της μάθησης των επιστημών με βάση το STEM είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση του επιστημονικού εγγραμματισμού, καθώς αυτές οι δεξιότητες είναι κεντρικές για τη δια βίου μάθηση και επιτρέπουν στα άτομα να εντοπίζουν προβλήματα, να διατυπώνουν λύσεις και να κατασκευάζουν νέα γνώση (Dewanti et al., 2021). Οι ραγδαίες εξελίξεις στην επιστήμη και την τεχνολογία απαιτούν έναν επιστημονικά εγγράμματο πληθυσμό για να πλοηγηθεί στις

πολυπλοκότητες της καθημερινής ζωής και να συμμετέχει πλήρως στην κοινωνία (Stylos et al., 2022). Η αναγκαιότητα αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της συνεχούς εκπαίδευσης και της παιδαγωγικής καινοτομίας που στοχεύει στην καλλιέργεια μιας βαθύτερης, πιο προσαρμοστικής κατανόησης των επιστημονικών αρχών μεταξύ των ατόμων (Maienschein, 1998). Η συνεχής ανάπτυξη είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση του εγγραμματισμού στην ψηφιακή εποχή, όπου ο επιστημονικός εγγραμματισμός αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο για την ενασχόληση με τις τεχνολογικές εξελίξεις και την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε δεδομένα (Turiman et al., 2012). Ο στόχος της επιστημονικής εκπαίδευσης παγκοσμίως είναι η ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού, ο οποίος περιλαμβάνει τη γνώση και την κατανόηση θεμελιωδών επιστημονικών ιδεών και διαδικασιών που είναι απαραίτητες για την προσωπική λήψη αποφάσεων (Suwono et al., 2017). Περιλαμβάνεται η ικανότητα ενασχόλησης με ζητήματα που σχετίζονται με την επιστήμη ως εποικοδομητικός, ενδιαφερόμενος και στοχαστικός πολίτης, και την εφαρμογή της επιστημονικής κατανόησης σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου (Cajas, 2001). Αυτό απαιτεί τα άτομα να είναι σε θέση να διατυπώνουν ερωτήματα σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα και να διαθέτουν την ικανότητα και την τάση να αναζητούν απαντήσεις μέσω της παρατήρησης, της εξερεύνησης και της ανάλυσης τόσο των φυσικών όσο και των ανθρωπογενών συστημάτων (Robinson, 1987).

Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην παιδεία διασφαλίζει ότι τα άτομα δεν είναι μόνο σε θέση να κατανοούν επιστημονικές πληροφορίες, αλλά και να επικοινωνούν αποτελεσματικά επιστημονικές ιδέες και να ερμηνεύουν οπτικές αναπαραστάσεις επιστημονικών δεδομένων. Κατά συνέπεια, οι διδακτικές πρακτικές πρέπει να εξελιχθούν για να ενσωματώσουν αυτές τις ποικίλες μορφές παιδείας, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές είναι εξοπλισμένοι για να πλοηγηθούν στις διεπιστημονικές προκλήσεις που ενυπάρχουν στη σύγχρονη επιστημονική έρευνα (Thibaut et al., 2018). Μια ολοκληρωμένη παιδαγωγική προσέγγιση είναι κρίσιμη για την ενδυνάμωση των ατόμων ώστε να χρησιμοποιούν την επιστημονική γνώση για την αντιμετώπιση καθημερινών προβλημάτων και την ενίσχυση μιας βαθύτερης εμπλοκής με τον επιστημονικό διάλογο (Peniero & Matsuura, 2020). Αυτό υπογραμμίζει τον εξελισσόμενο ρόλο των εκπαιδευτικών στην ενίσχυση της επιστημονικής παιδείας, ξεπερνώντας την παραδοσιακή παροχή περιεχομένου για να συμπεριλάβει την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης, επίλυσης προβλημάτων και επεξεργασίας

πληροφοριών (Kelp et al., 2023). Έτσι, τονίζεται εκ νέου ο ρόλος της εκπαίδευσης στις θετικές επιστήμες στην ενίσχυση όχι μόνο της κατάκτησης του περιεχομένου, αλλά και των μεταγνωστικών δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες για τη συνεχή μάθηση και προσαρμογή σε ένα ταχέως εξελισσόμενο επιστημονικό τοπίο. Για τον σκοπό αυτό, η εκπαίδευση στις θετικές επιστήμες πρέπει να εξοπλίζει τους μαθητές με την ικανότητα να εξηγούν φαινόμενα επιστημονικά, να αξιολογούν και να σχεδιάζουν επιστημονική έρευνα, καθώς και να ερμηνεύουν δεδομένα και στοιχεία επιστημονικά, επιτρέποντάς τους να ασχολούνται με ζητήματα που σχετίζονται με την επιστήμη ως στοχαστικοί πολίτες (Mönch & Markic, 2022). Περιλαμβάνεται μια στροφή προς διδακτικές μεθόδους οι οποίες δίνουν προτεραιότητα στην ενεργητική μάθηση και στις προσεγγίσεις που βασίζονται στην έρευνα, ξεπερνώντας την μηχανική απομνημόνευση γεγονότων για να καλλιεργήσουν μια βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών διαδικασιών και της φύσης της επιστημονικής γνώσης (Jegstad, 2023). Τέτοιοι παιδαγωγικοί μετασχηματισμοί είναι απαραίτητοι για την καλλιέργεια του ψηφιακού εγγραμματισμού και των νέων δεξιοτήτων εγγραμματισμού μεταξύ των μαθητών, προετοιμάζοντάς τους να αξιολογούν κριτικά πληροφορίες από ποικίλες πηγές και να επικοινωνούν αποτελεσματικά επιστημονικές έννοιες σε μια ψηφιακή εποχή (Rahmawati et al., 2021). Απαιτείται μια επαναξιολόγηση των στρατηγικών αξιολόγησης για την ακριβή μέτρηση πολύπλευρων πτυχών του επιστημονικού εγγραμματισμού πέρα από την απλή ανάκληση γεγονότων, εστιάζοντας αντ' αυτού στην εφαρμογή της επιστημονικής συλλογιστικής και της κριτικής ανάλυσης σε νέες καταστάσεις.

2.2 Ανάλυση των διαστάσεων του επιστημονικού εγγραμματισμού

Η έννοια του επιστημονικού εγγραμματισμού, ως ακρογωνιαίος λίθος της σύγχρονης εκπαίδευσης, είναι καθοριστική για την καλλιέργεια ατόμων ικανών να ασχολούνται με τον φυσικό κόσμο και τις ανθρώπινες επιπτώσεις σε αυτόν και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις (Atta et al., 2020). Περιλαμβάνει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και την ικανότητα ανεξάρτητης λήψης αποφάσεων (Fauziyah et al., 2021). Αυτή η διεπιστημονική κατανόηση εκτείνεται πέρα από την απλή ανάκληση γεγονότων, ενσωματώνοντας μια εκτίμηση για την αμοιβαία σχέση μεταξύ επιστήμης και κοινωνίας, παράλληλα με τις ηθικές παραμέτρους που είναι εγγενείς στο επιστημονικό έργο (Kovarik & Kubiato, 2023). Η ικανότητα αυτή είναι κρίσιμη για την προσωπική λήψη αποφάσεων, την ενεργό συμμετοχή σε αστικά και πολιτιστικά

ζητήματα και τη συμβολή στην οικονομική παραγωγικότητα (Sparks et al., 2022). Για να αναλυθεί η πολύπλευρη έννοια του επιστημονικού εγγραμματισμού, πραγματοποιείται μέσω τριών κύριων διαστάσεων: γνώση επιστημονικού περιεχομένου, επιστημονικές διαδικασίες και φύση της επιστήμης (Li & Guo, 2021). Οι διαστάσεις αυτές δεν είναι μεμονωμένες αλλά μάλλον αλληλένδετες, σχηματίζοντας ένα ολιστικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της επιστημονικής οξυδέρκειας ενός ατόμου και της ικανότητάς του να πλοηγείται σε επιστημονικές πληροφορίες στην καθημερινή ζωή (Chang et al., 2023).

Η διάσταση του επιστημονικού περιεχομένου αναφέρεται κυρίως στην κατανόηση θεμελιωδών επιστημονικών εννοιών, αρχών και θεωριών σε διάφορους κλάδους. Περιλαμβάνεται η απόκτηση δηλωτικής γνώσης απαραίτητης για την κατανόηση των επιστημονικών φαινομένων και η εφαρμογή της γνώσης αυτής σε πραγματικά περιβάλλοντα (Murti et al., 2018). Περιλαμβάνεται επίσης η εξοικείωση με βασικά επιστημονικά δεδομένα, ταξινομήσεις και μοντέλα τα οποία στηρίζουν τις επιστημονικές εξηγήσεις, επιτρέποντας στα άτομα να ερμηνεύουν και να κατανοούν αποτελεσματικά τις επιστημονικές πληροφορίες (Chang et al., 2023). Αυτή η θεμελιώδης κατανόηση επιτρέπει στα άτομα να κατανοούν τα επιστημονικά θεμέλια των σύγχρονων ζητημάτων, που κυμαίνονται από την κλιματική αλλαγή έως τις κρίσεις δημόσιας υγείας, και να αξιολογούν κριτικά τις σχετικές συζητήσεις (Sharon & Baram-Tsabari, 2020). Αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία τα άτομα μπορούν να συμμετάσχουν σε περαιτέρω επιστημονική έρευνα και να κατανοήσουν τις επιπτώσεις των επιστημονικών εξελίξεων στην καθημερινή τους ζωή (Turiman et al., 2012). Η ικανότητα σύνθεσης σύνθετων επιστημονικών πληροφοριών και ενσωμάτωσής τους με υπάρχουσες δομές γνώσης είναι πρωταρχικής σημασίας για την ανάπτυξη μιας λεπτής κατανόησης του επιστημονικού λόγου (Kovarik & Kubiatko, 2023). Αυτό το βάθος κατανόησης είναι ζωτικής σημασίας για τη διάκριση μεταξύ καλά τεκμηριωμένων επιστημονικών ισχυρισμών και παραπληροφόρησης, ενισχύοντας έτσι την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και την υπεύθυνη ιδιότητα του πολίτη (Fausan et al., 2021). Πέρα από την απλή ανάκληση γεγονότων, η διάσταση αυτή δίνει έμφαση στα εννοιολογικά πλαίσια που επιτρέπουν στα άτομα να κατασκευάζουν συνεκτικά νοητικά μοντέλα επιστημονικών φαινομένων, διευκολύνοντας έτσι μια βαθύτερη ενασχόληση με σύνθετα επιστημονικά προβλήματα (Rouf et al., 2021). Επιπλέον, εξοπλίζει τα άτομα με τα απαραίτητα γνωστικά εργαλεία για να εντάξουν τα επιστημονικά ευρήματα σε ευρύτερα κοινωνικά και ηθικά πλαίσια, προωθώντας έτσι μια πιο ολιστική

κατανόηση του ρόλου της επιστήμης στον σύγχρονο κόσμο (Murni et al., 2023). Η έρευνα δείχνει ότι, ενώ οι μαθητές μπορεί να μην εφαρμόζουν ρητά τη γνώση περιεχομένου στη συλλογιστική τους, η κατανόηση σχετικών επιστημονικών εννοιών είναι ωστόσο ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική αντιμετώπιση κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων (Bossér, 2023). Υποδηλώνεται έτσι πως η θεμελιώδης επιστημονική γνώση λειτουργεί ως προϋπόθεση για την ουσιαστική αντιμετώπιση σύνθετων κοινωνικών προκλήσεων που έχουν επιστημονικά θεμέλια. Οι εκπαιδευτικοί συχνά δίνουν προτεραιότητα στην επιλογή επιστημονικού περιεχομένου που συνδέεται άμεσα με τα τρέχοντα κοινωνικά ζητήματα, καταδεικνύοντας μια προσέγγιση «ανάγκης γνώσης» για την ενίσχυση του λειτουργικού επιστημονικού εγγραμματισμού (Bossér, 2023). Για παράδειγμα, η γνώση των μηχανισμών μετάδοσης ασθενειών είναι κρίσιμη για την κατανόηση κοινωνικών συμπεριφορών οι οποίες σχετίζονται με κρίσεις υγείας και για την ακριβή ερμηνεία σχετικών δεδομένων και στοιχείων (García-Carmona, 2023). Η γνώση περιεχομένου επιτρέπει στους μαθητές να εξερευνήσουν σύνθετα ζητήματα από μοριακό έως κοινωνικό επίπεδο, δομώντας την κατανόησή τους από συγκεκριμένες επιστημονικές λεπτομέρειες σε ευρύτερες επιπτώσεις. Αυτό το βάθος κατανόησης είναι απαραίτητο για την αναγνώριση της εγγενούς πολυπλοκότητας των ζητημάτων, δηλαδή την κατανόηση ότι οι απλές λύσεις σπάνια επαρκούν για πολύπλευρα προβλήματα (Bossér, 2023). Επίσης, εξοπλίζει τα άτομα να εξετάζουν σχολαστικά τα επιχειρήματα, διασφαλίζοντας ότι οι ισχυρισμοί βασίζονται σε ένα ουσιαστικό σύνολο αποδεικτικών στοιχείων και όχι σε ανεκδοτολογικές παρατηρήσεις (Yoon et al., 2023). Μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση ενσωματώνει τόσο την εννοιολογική γνώση όσο και τις δεξιότητες επιστημονικής πρακτικής ως κρίσιμα συστατικά του επιστημονικού εγγραμματισμού, αν και αυτά τα στοιχεία από μόνα τους μπορεί να μην επαρκούν για την αντιμετώπιση των σύγχρονων παγκόσμιων προκλήσεων (Owens et al., 2020).

Ο περιορισμός αυτός απαιτεί την συμπερίληψη της δεύτερης διάστασης του επιστημονικού εγγραμματισμού, των επιστημονικών διαδικασιών, η οποία εστιάζει στις μεθοδολογίες και τις πρακτικές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για να διερευνήσουν τον φυσικό κόσμο. Η διάσταση αυτή περιλαμβάνει τις δεξιότητες και τις γνωστικές στρατηγικές που εμπλέκονται στη διεξαγωγή επιστημονικής έρευνας, συμπεριλαμβανομένης της παρατήρησης, του σχηματισμού υποθέσεων, του πειραματισμού, της ανάλυσης δεδομένων και της εξαγωγής συμπερασμάτων που βασίζονται σε τεκμήρια. Αυτό περιλαμβάνει την ικανότητα ερμηνείας επιστημονικών

ευρημάτων, εντοπισμού μοτίβων και κατασκευής λογικών επιχειρημάτων με βάση εμπειρικά δεδομένα, ενθαρρύνοντας έτσι μια βαθύτερη εκτίμηση για την επαναληπτική φύση της επιστημονικής ανακάλυψης (Agustian, 2024). Αυτές οι διαδικαστικές δεξιότητες επιτρέπουν στα άτομα όχι μόνο να κατανοούν πώς κατασκευάζεται η επιστημονική γνώση, αλλά και να αξιολογούν κριτικά τους επιστημονικούς ισχυρισμούς και τις μεθοδολογίες που συναντώνται σε διάφορα πλαίσια (Bossér, 2023). Περιλαμβάνεται η ανάπτυξη της ικανότητας διατύπωσης ερευνητικών ερωτημάτων, σχεδιασμού πειραμάτων, συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και αποτελεσματικής επικοινωνίας επιστημονικών αποτελεσμάτων (Lederman et al., 2023). Επιπλέον, η κατανόηση των διαδικασιών αυτών είναι κρίσιμη για τη διαπίστωση της αξιοπιστίας των επιστημονικών πληροφοριών και της εγκυρότητας των ερευνητικών ευρημάτων, ειδικά σε μια εποχή γεμάτη με ταχέως διαδεδομένους και συχνά αντιφατικούς επιστημονικούς ισχυρισμούς (Sharon & Baram-Tsabari, 2020). Περιλαμβάνεται επίσης η ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης, επιτρέποντας στα άτομα να διαφοροποιούν μεταξύ συσχέτισης και αιτιότητας, να αναγνωρίζουν πειραματικές προκαταλήψεις και να αξιολογούν την καταλληλότητα των ερευνητικών σχεδίων (Teig, 2023). Οι δεξιότητες επιστημονικής διαδικασίας αντιπροσωπεύουν ικανότητες κρίσιμες για την προώθηση της γνώσης, καλύπτοντας τόσο βασικές δεξιότητες όπως η παρατήρηση και η μέτρηση, όσο και ολοκληρωμένες δεξιότητες όπως η ερμηνεία δεδομένων και η διατύπωση υποθέσεων (Cansiz, 2024). Η ανάπτυξη των ικανοτήτων αυτών είναι θεμελιώδης για την εμπλοκή σε εργασίες επιστημονικής έρευνας που απαιτούν σκέψη ανώτερου επιπέδου, όπως ο πειραματικός σχεδιασμός, η σύνθεση και η επιχειρηματολογία (Teig, 2023). Η έμφαση στην απόκτηση αυτών των δεξιοτήτων διαδικασίας είναι κρίσιμη επειδή παρέχει τις θεμελιώδεις δυνατότητες στους μαθητές να εμπλακούν στην επιστημονική έρευνα, ξεπερνώντας την μηχανική απομνημόνευση γεγονότων στην ενεργό συμμετοχή στην επιστημονική προσπάθεια (Agustian, 2023). Αυτό συνεπάγεται τον εξοπλισμό των μαθητών με την ικανότητα να εντοπίζουν μεταβλητές, να διατυπώνουν υποθέσεις, να χρησιμοποιούν στοιχεία, να αξιολογούν εξηγήσεις και να εξάγουν ορθά συμπεράσματα, τα οποία είναι όλα αναπόσπαστα στοιχεία για την κατανόηση της επιστημονικής έρευνας (Toma, 2021). Τέτοιες δεξιότητες προετοιμάζουν τους μαθητές όχι μόνο να κατανοούν τις επιστημονικές εξελίξεις αλλά και να αξιολογούν κριτικά τις μεθόδους με τις οποίες παράγεται και επικυρώνεται η επιστημονική γνώση, ενθαρρύνοντας έτσι μια πιο βαθιά εμπλοκή με την επιστημονική συλλογιστική (Schlatter et al., 2021). Αυτές οι

δεξιότητες θεωρούνται ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των μαθητών, καθώς τους επιτρέπουν να εφαρμόζουν επιστημονικές μεθόδους στην επίλυση προβλημάτων και στην ανακάλυψη νέας γνώσης (Maison et al., 2020). Η άριστη γνώση αυτών των δεξιοτήτων επεξεργασίας είναι ζωτικής σημασίας για τους μαθητές, ώστε να διεξάγουν αποτελεσματικά την πρακτική εργασία και να κατανοήσουν τη συστηματική προσέγγιση που απαιτείται για την επιστημονική έρευνα (Tauhidah & Rofi'ah, 2023). Πράγματι, η καλλιέργεια των ικανοτήτων αυτών βοηθά στην ανάπτυξη ενός αισθήματος ευθύνης στη μάθηση και αναβαθμίζει τη σημασία των ερευνητικών μεθοδολογιών στο εκπαιδευτικό πλαίσιο (Sholihah et al., 2020). Οι δεξιότητες είναι θεμελιώδεις για την κριτική σκέψη, επιτρέποντας στα άτομα να αξιολογούν λογικά και συστηματικά δεδομένα, να κάνουν αιτιολογημένες κρίσεις και να λύνουν προβλήματα τόσο σε ακαδημαϊκό περιβάλλον όσο και στην καθημερινή ζωή (Darmaji et al., 2020). Επιπλέον, αυτές οι δεξιότητες επεξεργασίας εκτείνονται πέρα από την απλή τεχνική εκτέλεση και περιλαμβάνουν την ικανότητα συντονισμού μεταβλητών και ενσωμάτωσης θεωρητικών ισχυρισμών με εμπειρικά στοιχεία, σχηματίζοντας έτσι το θεμέλιο της εξελιγμένης επιστημονικής έρευνας (Teig, 2023). Αυτή η ενσωμάτωση μετατρέπει τους μαθητές σε ενεργούς επιστημονικούς παράγοντες ικανούς να επιλύουν προβλήματα του πραγματικού κόσμου και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις (Nurulsari et al., 2023). Οι δεξιότητες αυτές δεν περιορίζονται στον ακαδημαϊκό τομέα. Είναι απαραίτητες για την πλοήγηση στην καθημερινή ζωή, καθώς τα άτομα που δεν έχουν ισχυρές δεξιότητες επιστημονικής διαδικασίας μπορεί να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην επίλυση προβλημάτων και στη λήψη αποφάσεων (Inayah et al., 2020). Η καλλιέργεια αυτών των ικανοτήτων συλλογισμού είναι ζωτικής σημασίας για να αναπτύξουν οι μαθητές επιστημονική κατανόηση και να διεξάγουν αποτελεσματικά την επιστημονική έρευνα (Boğar, 2019). Κατά συνέπεια, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να υιοθετήσουν προσεγγίσεις διδασκαλίας προσανατολισμένες στην έρευνα, όπως το Μοντέλο Επιπέδων Έρευνας για τη Διδασκαλία της Φυσικής, για να ενισχύσουν αποτελεσματικά αυτές τις πνευματικές δεξιότητες και τις επιστημονικές πρακτικές μεταξύ των μαθητών (Wenning & Vieyra, 2020). Ένας εναλλακτικός τρόπος για τη βελτίωση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών, συμπεριλαμβανομένων των δεξιοτήτων τους στη διαδικασία, είναι μέσω της μάθησης που βασίζεται στην έρευνα, όπως η ανακαλυπτική μάθηση (Suryanti et al., 2018). Τέτοιες παιδαγωγικές προσεγγίσεις εμπλέκουν ενεργά τους μαθητές στη μαθησιακή διαδικασία, ενισχύοντας το κίνητρο και τη βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών (Fadhilla et al.,

2021). Αυτή η ενεργή εμπλοκή είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των πνευματικών, χειρωνακτικών και κοινωνικών δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες για την οικοδόμηση και τη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης εντός των επιστημονικών πεδίων (Nurulita, 2021). Η ενεργή εμπλοκή με την επιστημονική έρευνα ενισχύεται περαιτέρω από ευκαιρίες για διερεύνηση φυσικών φαινομένων μέσω πρακτικών δραστηριοτήτων, οι οποίες ταυτόχρονα αναπτύσσουν πνευματικές και ψυχοκινητικές δεξιότητες απαραίτητες για την επιστημονική εργασία (Wiwin & Kustijono, 2018). Αυτό περιλαμβάνει την ενίσχυση της κριτικής σκέψης, της επίλυσης προβλημάτων και των επικοινωνιακών ικανοτήτων, οι οποίες θεωρούνται κρίσιμες δεξιότητες του 21ου αιώνα (Estuhono, 2022). Αυτές οι δεξιότητες βελτιώνονται περαιτέρω μέσω της εμπλοκής των μαθητών σε συζητήσεις σχετικά με τις έρευνες, οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν την κατανόησή τους για τις φάσεις της έρευνας, όπως η διατύπωση υποθέσεων και ο πειραματικός σχεδιασμός (Teig, 2023). Οι δεξιότητες επεξεργασίας δεν είναι μόνο θεμελιώδεις για την επιστημονική έρευνα, αλλά αποτελούν επίσης τη βάση για γνωστικές λειτουργίες ανώτερης τάξης, κρίσιμες για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων του πραγματικού κόσμου (Chatimah, 2019). Η έμφαση σε αυτές τις δεξιότητες υπογραμμίζει τη μετατόπιση της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες από την απλή απόκτηση περιεχομένου στην ανάπτυξη ισχυρών επιστημονικών ικανοτήτων απαραίτητων για τη δια βίου μάθηση και την επίλυση προβλημάτων (Fraile et al., 2023). Επιπλέον, η ικανότητα διατύπωσης και δοκιμής υποθέσεων, ερμηνείας δεδομένων και εξαγωγής συμπερασμάτων βασισμένων σε τεκμήρια - όλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ισχυρών δεξιοτήτων επεξεργασίας - αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως ζωτικής σημασίας για τους πολίτες, ώστε να ασχολούνται ουσιαστικά με επιστημονικά ζητήματα και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σε έναν ταχέως εξελισσόμενο κόσμο (Küçükaydın & Ayaz, 2024). Οι πρακτικές τεχνικές διδασκαλίας, όπως η πρακτική ή η εργαστηριακή μάθηση, είναι κρίσιμες στην εκπαίδευση STEM για την καλλιέργεια ενός ενεργητικού μαθησιακού περιβάλλοντος που προάγει τη βαθύτερη κατανόηση και την κριτική σκέψη (Kamarrudin et al., 2023). Η μοναδικότητα της εργαστηριακής πρακτικής εργασίας έγκειται κυρίως στην προσφορά στους μαθητές ευκαιριών να συμμετάσχουν στις διαδικασίες μελέτης και έρευνας, οι οποίες αποτελούν διδακτικές μεθόδους για τη μάθηση και την εξάσκηση δραστηριοτήτων σχετικών με τα μελλοντικά τους επαγγέλματα (Owusu, 2023). Τέτοιες πρακτικές εμπειρίες επιτρέπουν στους μαθητές να εφαρμόζουν θεωρητικές γνώσεις, να αναπτύσσουν κριτική σκέψη και να

συνεργάζονται αποτελεσματικά, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ της μάθησης στην τάξη και των επιστημονικών εφαρμογών του πραγματικού κόσμου (Nicol, 2021). Αυτή η προσέγγιση, που τονίζεται ιδιαίτερα στους τομείς STEM, βοηθά τους μαθητές να οπτικοποιούν έννοιες και εφαρμογές μέσω πειραματισμού, ενισχύοντας την αρχή της «μάθησης μέσω της πράξης» (Kolil et al., 2023). Αυτή η παιδαγωγική προσέγγιση καλλιεργεί πρακτικές δεξιότητες όπως ο χειρισμός συσκευών, η διεξαγωγή πειραμάτων και η ανάλυση δεδομένων, οι οποίες είναι απαραίτητες για την εφαρμογή της θεωρητικής γνώσης σε σενάρια του πραγματικού κόσμου (Yang et al., 2024). Πράγματι, η βιωματική μάθηση μέσω πρακτικών δραστηριοτήτων μπορεί να διεγείρει το ενδιαφέρον των μαθητών για σταδιοδρομίες STEM παρέχοντας ανατροφοδότηση, ευκαιρίες για κριτική σκέψη και ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων, ενισχύοντας έτσι την αυτοαποτελεσματικότητα (Su, 2022). Αυτές οι εργαστηριακές εμπειρίες είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καλλιέργειας όχι μόνο των ψυχοκινητικών δεξιοτήτων αλλά και των γνωστικών και συναισθηματικών τομέων, επιτρέποντας στους μαθητές να αξιολογούν και να ερμηνεύουν αποτελεσματικά τα δεδομένα και να εξάγουν ορθά συμπεράσματα (Holmen et al., 2023). Αυτό το πλαίσιο ενεργητικής μάθησης, που συχνά ενσωματώνει ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και καινοτόμες τεχνολογίες, ενισχύει τη συμμετοχή και προωθεί την βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών αρχών (Arora & Chauhan, 2021). Ωστόσο, παρά τα αναγνωρισμένα οφέλη, τα εμπειρικά στοιχεία σχετικά με την ολοκληρωμένη αποτελεσματικότητα της πρακτικής άσκησης σε όλα τα πτυχία των επιστημών, ιδίως στις βιοεπιστήμες, παραμένουν ελάχιστα (Høiby & Christensen, 2023). Οι υλικοτεχνικές πολυπλοκότητες και η πιθανότητα αναποτελεσματικότητας σε κακώς σχεδιασμένες πρακτικές δραστηριότητες υπογραμμίζουν περαιτέρω την ανάγκη για πιο αυστηρή εμπειρική διερεύνηση του παιδαγωγικού τους αντίκτυπου (Marley et al., 2022). Αυτό το κενό υπογραμμίζει μια κρίσιμη ανάγκη για έρευνα που να οριοθετεί τα συγκεκριμένα στοιχεία σχεδιασμού και τις διδακτικές στρατηγικές εντός της πρακτικής άσκησης που βελτιστοποιούν τα μαθησιακά αποτελέσματα, ξεπερνώντας τους γενικευμένους ισχυρισμούς για την αποτελεσματικότητά της (Sowunmi et al., 2024). Μια μελέτη περίπτωσης μικτών μεθόδων αποκάλυψε ότι ενώ η πρακτική άσκηση βοηθά στην ανάπτυξη χειριστικών δεξιοτήτων, η συνολική αποτελεσματικότητά της στην προώθηση της εννοιολογικής κατανόησης και της συναισθηματικής εμπλοκής χρειάζεται περαιτέρω εμπειρική τεκμηρίωση (Madsen et al., 2024). Αυτό απαιτεί μια πιο λεπτομερή κατανόηση του πώς οι πρακτικές ασκήσεις συμβάλλουν σε διάφορα

μαθησιακά αποτελέσματα, αντί να υποθέτουμε ένα καθολικό όφελος (Mundy et al., 2023). Αυτή η βαθύτερη κατανόηση είναι ζωτικής σημασίας για τους μαθητές, όχι μόνο για να κατανοήσουν θεωρητικές έννοιες αλλά και για να τις εφαρμόσουν στην πράξη, γεφυρώνοντας έτσι το χάσμα μεταξύ της αφηρημένης γνώσης και της εφαρμογής στον πραγματικό κόσμο (Turreira-García et al., 2022). Κατά συνέπεια, η «διάσταση των επιστημονικών διαδικασιών» του επιστημονικού εγγραμματισμού ενσωματώνει τις βασικές ικανότητες που απαιτούνται για την εμπλοκή στην επιστημονική έρευνα, ξεπερνώντας την απλή απομνημόνευση στην ενεργό συμμετοχή σε επιστημονικές πρακτικές.

Η τρίτη διάσταση του επιστημονικού εγγραμματισμού, γνωστή ως φύση της επιστήμης, περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της ίδιας της επιστημονικής δραστηριότητας, η οποία υπερβαίνει την απλή γνώση περιεχομένου και αντιμετωπίζει τα επιστημολογικά, ιστορικά, κοινωνιολογικά και φιλοσοφικά θεμέλια της επιστημονικής έρευνας (Takriti et al., 2022). Η διάσταση αυτή στοχεύει στο να καλλιεργήσει στα άτομα μια εκτίμηση σχετικά με την παραγωγή, την επικύρωση και την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, προσφέροντας μια πανοραμική άποψη της επιστήμης και όχι μόνο των αποτελεσμάτων της (Koronen, 2021). Περιλαμβάνει την κατανόηση των εγγενών χαρακτηριστικών της επιστημονικής γνώσης, συμπεριλαμβανομένης της διστακτικότητας, της εμπειρικής βάσης, της υποκειμενικότητας και της επιρροής της ανθρώπινης συμπερασματολογίας, της δημιουργικότητας και των κοινωνικο-πολιτισμικών πλαισίων (Li & Guo, 2021). Η ευρύτερη προοπτική δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να αξιολογούν κριτικά τις επιστημονικές πληροφορίες και να ασχολούνται με σύνθετα κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα, ενθαρρύνοντας έτσι την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων σε προσωπικά και κοινωνικά πλαίσια (Lederman et al., 2013). Επιπλέον, η ισχυρή κατανόηση της φύσης της επιστήμης είναι ζωτικής σημασίας για την πλοήγηση στο σύγχρονο τοπίο της παραπληροφόρησης και της αντιεπιστημονικής ρητορικής, επιτρέποντας στα άτομα να αξιολογούν κριτικά τους επιστημονικούς ισχυρισμούς και τις κοινωνικές τους επιπτώσεις (Gandolfi, 2024). Πράγματι, ο θεμελιώδης ρόλος της φύσης της επιστήμης στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες έχει αναγνωριστεί παγκοσμίως, με πολλά προγράμματα σπουδών να δίνουν έμφαση στην ενσωμάτωσή τους από την πρώιμη σχολική εκπαίδευση έως την τριτοβάθμια εκπαίδευση (Takriti et al., 2022). Αυτή η έμφαση πηγάζει από την αναγνώριση ότι η κατανόηση της φύσης της επιστήμης δεν είναι μόνο αυτοσκοπός, αλλά και ένα κρίσιμο μέσο για την εμπλοκή στη λήψη

κοινωνικο-επιστημονικών αποφάσεων (Yacoubian, 2015). Πρόσφατες μελέτες υποστηρίζουν πιο ολιστικές και αλληλένδετες προσεγγίσεις για την κατανόηση των επιστημολογικών και κοινωνικών πτυχών της φύσης της επιστήμης, ξεπερνώντας τους άκαμπτους διαχωρισμούς για να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα της επιστήμης σε πραγματικά περιβάλλοντα (Gandolfi, 2024). Η ολοκληρωμένη κατανόηση της φύσης της επιστήμης είναι ολοένα και πιο ζωτικής σημασίας δεδομένων των παγκόσμιων προκλήσεων όπως η κλιματική αλλαγή και οι πανδημίες, οι οποίες υπογραμμίζουν την ανάγκη για μια κοινωνία ικανή να ασχοληθεί με την επιστήμη με έναν λεπτό και κριτικό τρόπο. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση αναγνωρίζει ότι η επιστημονική πρακτική δεν μπορεί να περιοριστεί αποκλειστικά στις πολιτικές και κοινωνικές της διαστάσεις, ωστόσο συχνά προσφέρει απαραίτητες απαντήσεις που η κοινωνία πρέπει να λάβει υπόψη. Απαιτείται λοιπόν μια παιδαγωγική προσέγγιση που αντιμετωπίζει τις εγγενείς πολυπλοκότητες της παραγωγής επιστημονικής γνώσης και την εμπλοκή της με τις κοινωνικές αξίες και τις δομές εξουσίας (Gandolfi, 2024). Προηγούμενη έρευνα έχει δείξει ότι μια δυναμική κατανόηση της επιστήμης, που περιλαμβάνει τους περιορισμούς της, τον ρόλο των αποδεικτικών στοιχείων, την αβεβαιότητα και το κοινωνικό της πλαίσιο, είναι θεμελιώδης για την κατανόηση του επιστημονικού ήθους. Ενώ το γνωστικό-επιστημονικό σύστημα συχνά λαμβάνει μεγαλύτερη έμφαση στις αναλύσεις των προγραμμάτων σπουδών, όπως αποδεικνύεται από ευρήματα που αναδεικνύουν στόχους, αξίες, γνώσεις και πρακτικές ως εξέχουσες κατηγορίες, ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν μια αυξανόμενη αναγνώριση των κοινωνικο-θεσμικών διαστάσεων (Kostøl et al., 2022). Τέτοιες παραλείψεις μπορούν να οδηγήσουν σε μια περικομμένη κατανόηση της επιστήμης ως κοινωνικο-θεσμικού συστήματος, ενός ουσιαστικού στοιχείου για τον επιστημονικό εγγραμματισμό (Høiby & Christensen, 2023). Για την αντιμετώπιση αυτού του κενού, ορισμένα πλαίσια, όπως η Προσέγγιση Οικογενειακής Ομοιότητας, έχουν προταθεί ως ολοκληρωμένα εργαλεία για την ανάλυση της φύσης της επιστήμης στα προγράμματα σπουδών, με στόχο την αποτύπωση τόσο της φύσης της επιστημονικής γνώσης όσο και της επιστήμης ως επιστημονικού κλάδου, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικο-θεσμικών διαστάσεών της (Kostøl et al., 2022). Εξερευνώντας τα όρια μεταξύ επιστήμης και ψευδοεπιστήμης, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αξιοποιήσουν σαφείς στρατηγικές διδασκαλίας για να διευκρινίσουν τη φύση και των δύο εννοιών και να αναπτύξουν τις ικανότητες των μαθητών να διακρίνουν αξιόπιστες πληροφορίες (Park & Brock, 2022). Αυτή η παιδαγωγική στρατηγική ξεπερνά τον απλό προσδιορισμό της ψευδοεπιστήμης και

ενισχύει μια βαθύτερη εκτίμηση για τις αυστηρές μεθόδους και την κοινοτική συναίνεση που στηρίζουν την επιστημονική γνώση. Μια τέτοια προσέγγιση βοηθά επίσης στην ανάπτυξη μιας κριτικής στάσης απέναντι στους ισχυρισμούς, επιτρέποντας στους μαθητές να αξιολογούν τα στοιχεία και να εντοπίζουν λογικά σφάλματα, μετριάζοντας έτσι την υιοθέτηση εσφαλμένων πεποιθήσεων (Park & Brock, 2022). Αυτή η ενεργή εμπλοκή με το πρόβλημα της οριοθέτησης συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης που εφαρμόζονται σε ευρύτερα κοινωνικά πλαίσια, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης ισχυρισμών βιωσιμότητας και παρανοήσεων για την κλιματική αλλαγή (Kjelsberg, 2024).

2.3 Δείκτες του επιστημονικού εγγραμματισμού

Ο επιστημονικός εγγραμματισμός αποτελεί έναν από τους θεμελιώδεις στόχους της σύγχρονης εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες και συνδέεται στενά με την ικανότητα του ατόμου να κατανοεί τον φυσικό κόσμο, να αξιοποιεί την επιστημονική γνώση για την επίλυση προβλημάτων και να συμμετέχει ενεργά τόσο σε κοινωνικά όσο και τεχνολογικά ζητήματα τα οποία άπτονται της επιστήμης (Laugksch, 2000). Η έννοια αυτή δεν περιορίζεται μόνο στη συσσώρευση γνώσεων. Περιλαμβάνεται ένα πλέγμα από γνωστικές, διαδικαστικές και μεταγνωστικές δεξιότητες, στάσεις και αξίες. Για να είναι εφικτή η μέτρηση και η αξιολόγησή του επιστημονικού εγγραμματισμού, η διεθνής βιβλιογραφία έχει προτείνει συγκεκριμένους δείκτες επιστημονικού εγγραμματισμού, οι οποίοι αποτυπώνουν τις επιμέρους διαστάσεις μέσα από τις οποίες εκδηλώνεται ο εγγραμματισμός των μαθητών στην επιστήμη.

Οι δείκτες αυτοί λειτουργούν ως παρατηρήσιμα και μετρήσιμα στοιχεία τα οποία επιτρέπουν στους ερευνητές να είναι σε θέση να αξιολογήσουν το επίπεδο κατανόησης, ικανότητας και στάσης των μαθητών απέναντι στην επιστήμη (OECD, 2016). Με άλλα λόγια, αποτελούν τα «σημεία αναφοράς» τα οποία μας δείχνουν σε ποιο βαθμό ένα άτομο είναι ικανό να σκέφτεται, να επικοινωνεί και να δρα επιστημονικά, τόσο στο σχολικό όσο και στο κοινωνικό πλαίσιο.

2.3.1 Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης

Η πρώτη και θεμελιώδης διάσταση του επιστημονικού εγγραμματισμού αφορά τις γνώσεις περιεχομένου, δηλαδή την κατανόηση των βασικών εννοιών, αρχών, νόμων και θεωριών των φυσικών επιστημών. Η διάσταση αυτή συνδέεται με το «τι γνωρίζει» ο μαθητής για τα επιστημονικά φαινόμενα και κατά πόσο μπορεί να εφαρμόσει τη γνώση αυτή σε διαφορετικά συμφραζόμενα (Laugksch, 2000).

Οι κύριοι δείκτες της παρούσας διάστασης περιλαμβάνουν την κατανόηση βασικών εννοιών και όρων των φυσικών επιστημών, την ικανότητα ερμηνείας φαινομένων με βάση επιστημονικές αρχές, τη σύνδεση της θεωρητικής γνώσης με καταστάσεις της καθημερινής ζωής και την ικανότητα διάκρισης επιστημονικών εξηγήσεων από εναλλακτικές ή διαισθητικές αντιλήψεις.

Η ανάπτυξη αυτής της διάστασης καθιστά τον μαθητή ικανό να χρησιμοποιεί τη γνώση όχι απλώς απομνημονευτικά, αλλά με λειτουργικό τρόπο, ώστε να αναγνωρίζεται η σημασία της επιστημονικής τεκμηρίωσης και των αποδείξεων.

2.3.2 Διαδικασίες της επιστήμης

Η δεύτερη διάσταση, που σχετίζεται με τις διαδικασίες της επιστήμης, αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές χρησιμοποιούν την επιστημονική γνώση για να διερευνήσουν και να κατανοήσουν φαινόμενα. Περιλαμβάνει τις δεξιότητες της παρατήρησης, της διατύπωσης ερωτημάτων και υποθέσεων, της σχεδίασης πειραμάτων, της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, καθώς και της εξαγωγής συμπερασμάτων (OECD, 2016).

Οι δείκτες αυτής της διάστασης περιλαμβάνουν την ικανότητα παρατήρησης και καταγραφής δεδομένων με ακρίβεια, τη διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων και υποθέσεων, τη σχεδίαση και εκτέλεση πειραματικών διαδικασιών, την ανάλυση και ερμηνεία αποτελεσμάτων, την εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων και τη σύνδεσή τους με τα αρχικά ερωτήματα και τη χρήση επιστημονικής ορολογίας για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Η διάσταση αυτή αντιστοιχεί στο «πώς γνωρίζουμε» και στο «πώς μαθαίνουμε» στην επιστήμη και είναι κρίσιμη για την καλλιέργεια της αναστοχαστικής και ερευνητικής σκέψης των μαθητών.

2.3.3 Φύση της επιστήμης

Η τρίτη διάσταση αφορά τη φύση της επιστήμης, δηλαδή την κατανόηση της επιστήμης ως ανθρώπινης δραστηριότητας, με συγκεκριμένες αρχές, μεθόδους, όρια και κοινωνικές διαστάσεις (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002). Η κατανόηση της φύσης της επιστήμης βοηθά τους μαθητές να αναγνωρίζουν ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι στατική, αλλά εξελίσσεται μέσα από διαδικασίες ελέγχου, αμφισβήτησης και αναθεώρησης.

Οι δείκτες της παρούσας διάστασης αφορούν την κατανόηση ότι η επιστημονική γνώση είναι προσωρινή και υπόκειται σε αναθεώρηση, την αναγνώριση του ρόλου των αποδείξεων, των δεδομένων και της λογικής επιχειρηματολογίας, τη διάκριση μεταξύ επιστημονικών, ηθικών ή κοινωνικών ζητημάτων, την επίγνωση ότι οι επιστήμονες εργάζονται συνεργατικά και επηρεάζονται από το κοινωνικοπολιτισμικό πλαίσιο και την κατανόηση ότι η επιστήμη βασίζεται σε ανθρώπινες αξίες όπως η ακεραιότητα, η διαφάνεια και η αντικειμενικότητα.

Η γνώση της φύσης της επιστήμης επιτρέπει στους μαθητές να αναπτύσσουν κριτική στάση απέναντι στις επιστημονικές πληροφορίες και να συμμετέχουν πιο ουσιαστικά στον δημόσιο διάλογο για ζητήματα επιστήμης και τεχνολογίας.

Διάσταση Επιστημονικού εγγραμματισμού	Δείκτης	Περιγραφή του δείκτη	Εφαρμογή στη διδασκαλία του φυτικού και του ζωικού κυττάρου	Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα
1. Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης	1.1 Δομή και λειτουργία του κυττάρου	Κατανόηση της βασικής κυτταρικής δομής, των οργανιδίων και των λειτουργιών τους.	Οι μαθητές αναγνωρίζουν σε προσομοιώσεις ή AR περιβάλλοντα τα οργανίδια (πυρήνας, κυτταρική μεμβράνη, χλωροπλάστες, μιτοχόνδρια κ.ά.) και περιγράφουν τον ρόλο τους.	Οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια τις λειτουργίες των βασικών οργανιδίων και να συγκρίνουν φυτικό και ζωικό κύτταρο.

Διάσταση Επιστημονικού εγγραμματισμού	Δείκτης	Περιγραφή του δείκτη	Εφαρμογή στη διδασκαλία του φυτικού και του ζωικού κυττάρου	Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα
	1.2 Σχέση μορφής και λειτουργίας	Κατανόηση της σχέσης μεταξύ της δομής ενός οργανιδίου και της λειτουργίας του.	Μέσα από AR προσομοιώσεις οι μαθητές διερευνούν π.χ. γιατί οι χλωροπλάστες υπάρχουν μόνο στα φυτικά κύτταρα.	Οι μαθητές συνδέουν τη μορφολογία με τη λειτουργία (π.χ. χλωροπλάστες → φωτοσύνθεση, κυτταρικό τοίχωμα → στήριξη).
	1.3 Ιεραρχική οργάνωση της ζωής	Κατανόηση ότι το κύτταρο είναι η βασική μονάδα της ζωής και οργανώνεται σε ιστούς, όργανα και συστήματα.	Μέσα από σύγκριση μικροσκοπικών εικόνων ή τρισεδιάστατων μοντέλων (AR) οι μαθητές συσχετίζουν την κυτταρική δομή με την οργάνωση των οργανισμών.	Οι μαθητές εξηγούν τη θέση του κυττάρου στην ιεραρχική οργάνωση των οργανισμών.
	1.4 Διάκριση φυτικού – ζωικού κυττάρου	Αναγνώριση ομοιοτήτων και διαφορών.	Οι μαθητές παρατηρούν AR μοντέλα φυτικού και ζωικού κυττάρου, εντοπίζουν ομοιότητες/διαφορές, και τις καταγράφουν.	Οι μαθητές ταξινομούν τα κύτταρα σε κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά τους.
2. Διαδικασίες της επιστήμης	2.1 Παρατήρηση και αναγνώριση μεταβλητών	Ανάπτυξη δεξιοτήτων παρατήρησης και εντοπισμού κρίσιμων χαρακτηριστικών.	Οι μαθητές χρησιμοποιούν εικονικό μικροσκόπιο ή προσομοίωση για να παρατηρήσουν κύτταρα και να εντοπίσουν κοινά χαρακτηριστικά.	Οι μαθητές περιγράφουν συστηματικά τα παρατηρούμενα στοιχεία και τεκμηριώνουν τις παρατηρήσεις τους.
	2.2 Διατύπωση υποθέσεων	Ικανότητα να προβλέπουν ή να υποθέτουν σχέσεις με βάση ενδείξεις.	Π.χ. υποθέτουν γιατί ένα κύτταρο χωρίς μιτοχόνδρια δεν μπορεί να επιβιώσει.	Οι μαθητές εξηγούν λογικά τις υποθέσεις τους, χρησιμοποιώντας γνώσεις για τη λειτουργία των οργανιδίων.
	2.3 Πειραματισμός και διερεύνηση	Ανάπτυξη δεξιοτήτων ελέγχου μεταβλητών και	Μέσα από εικονικά πειράματα (π.χ. πώς επηρεάζει το φως τη	Οι μαθητές ερμηνεύουν τα δεδομένα και συνάγουν

Διάσταση Επιστημονικού εγγραμματισμού	Δείκτης	Περιγραφή του δείκτη	Εφαρμογή στη διδασκαλία του φυτικού και του ζωικού κυττάρου	Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα
		συλλογής δεδομένων.	δραστηριότητα των χλωροπλαστών).	συμπεράσματα με επιστημονική επιχειρηματολογία.
	2.4 Ερμηνεία και αξιολόγηση δεδομένων	Ικανότητα να αναλύουν παρατηρήσεις, να εξάγουν συμπεράσματα και να τα αιτιολογούν.	Οι μαθητές αναλύουν αποτελέσματα προσομοιώσεων (π.χ. ενεργειακή απόδοση φυτικών κυττάρων υπό διαφορετικές συνθήκες).	Οι μαθητές αξιολογούν την εγκυρότητα των συμπερασμάτων τους και συνδέουν τα αποτελέσματα με θεωρητικές γνώσεις.
	2.5 Επικοινωνία επιστημονικών αποτελεσμάτων	Ικανότητα παρουσίασης των ευρημάτων με επιστημονική ορολογία και σαφήνεια.	Οι μαθητές δημιουργούν αφίσες, διαγράμματα ή παρουσιάσεις για τα φυτικά/ζωικά κύτταρα.	Οι μαθητές χρησιμοποιούν σωστή ορολογία και λογική δομή στις περιγραφές τους.
3. Φύση της επιστήμης	3.1 Επιστήμη ως ανθρώπινη δραστηριότητα	Κατανόηση ότι η επιστήμη εξελίσσεται μέσα από την ανθρώπινη παρατήρηση, πειραματισμό και τεχνολογία.	Οι μαθητές συζητούν πώς η χρήση μικροσκοπίου ή AR βοήθησε τους επιστήμονες να κατανοήσουν τη δομή του κυττάρου.	Οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι η επιστήμη βασίζεται σε αποδείξεις και τεχνολογική πρόοδο.
	3.2 Μεταβλητότητα της επιστημονικής γνώσης	Αντίληψη ότι η γνώση αλλάζει με βάση νέα δεδομένα και τεχνολογικά μέσα.	Συζήτηση για την εξέλιξη των θεωριών περί κυττάρου (από Hooke έως σύγχρονη κυτταρική θεωρία).	Οι μαθητές κατανοούν ότι η επιστήμη είναι δυναμική και διαρκώς αναθεωρείται.
	3.3 Εμπειρική και τεκμηριωμένη βάση της επιστήμης	Αντίληψη ότι οι επιστημονικές ιδέες βασίζονται σε αποδείξεις.	Μέσα από AR διερευνήσεις, οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι οι επιστημονικές εξηγήσεις για τη λειτουργία των κυττάρων προκύπτουν από πειραματικά δεδομένα.	Οι μαθητές υιοθετούν την έννοια της τεκμηρίωσης ως κριτήριο επιστημονικής εγκυρότητας.
	3.4 Ρόλος συνεργασίας	Συνειδητοποίηση της συλλογικής	Οι μαθητές εργάζονται σε	Οι μαθητές αναπτύσσουν

Διάσταση Επιστημονικού εγγραμματισμού	Δείκτης	Περιγραφή του δείκτη	Εφαρμογή στη διδασκαλία του φυτικού και του ζωικού κυττάρου	Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα
	και επικοινωνίας στην επιστήμη	φύσης της επιστημονικής εργασίας.	ομάδες, ανταλλάσσουν ιδέες και συζητούν για την οργάνωση του κυττάρου.	δεξιότητες συνεργασίας και επιχειρηματολογίας.

2.3.4 Σύνδεση με τη διδακτική πράξη και την έρευνα

Στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής έρευνας, οι δείκτες του επιστημονικού εγγραμματισμού οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση εργαλείων αξιολόγησης, ερωτηματολογίων και δραστηριοτήτων οι οποίες μετρούν την πρόοδο των μαθητών σε κάθε διάσταση (Bybee, 2011). Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας αναφορικά με τη διδασκαλία των φυτικών και ζωικών κυττάρων, οι δείκτες μπορούν να εκφραστούν σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2.1

Διάσταση	Ενδεικτικός δείκτης	Παράδειγμα δραστηριότητας ή ερώτησης
Γνώσεις περιεχομένου	Αναγνώριση δομικών μερών του κυττάρου	«Ποιο είναι το κύριο χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί το φυτικό από το ζωικό κύτταρο;»
Διαδικασίες της επιστήμης	Ερμηνεία αποτελεσμάτων εικονικού πειράματος	«Τι θα συμβεί αν αφαιρέσουμε το χλωροπλάστη από το φυτικό κύτταρο;»
Φύση της επιστήμης	Κατανόηση ότι η επιστημονική γνώση εξελίσσεται	«Γιατί οι επιστήμονες άλλαξαν την άποψή τους για τη δομή του κυττάρου με την πρόοδο της τεχνολογίας;»

Η χρήση αυτών των δεικτών συμβάλλει στη συστηματική και έγκυρη αξιολόγηση της μάθησης, ενώ επιτρέπει τη σύγκριση διαφορετικών μορφών διδασκαλίας, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα, οι προσομοιώσεις και η συμβατική διδασκαλία.

Πίνακας 2.2. Συσχέτιση δεικτών επιστημονικού εγγραμματισμού με είδη δραστηριοτήτων και ερωτήσεων στη διδασκαλία του φυτικού και ζωικού κυττάρου

Διάσταση	Δείκτης	Είδος ερώτησης ή δραστηριότητας	Τι μετρά	Παράδειγμα εφαρμογής
Γνώσεις του περιεχομένου	Δομή και λειτουργία του κυττάρου	Ερώτηση πολλαπλής επιλογής / αντιστοίχισης	Αναγνώριση βασικών οργανιδίων και λειτουργιών	«Ποιο οργανίδιο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή ενέργειας;»
	Σχέση μορφής και λειτουργίας	Ερώτηση αιτιολόγησης / σύντομης απάντησης	Σύνδεση μορφολογίας με λειτουργία	«Γιατί οι χλωροπλάστες υπάρχουν μόνο στα φυτικά κύτταρα;»
	Ιεραρχική οργάνωση της ζωής	Οπτική δραστηριότητα ταξινόμησης	Κατανόηση σχέσεων μεταξύ κυττάρου, ιστού, οργάνου	Αντιστοίχιση "κύτταρο – ιστός – όργανο – οργανισμός" με παραδείγματα.
	Διάκριση φυτικού – ζωικού κυττάρου	Δραστηριότητα αντιπαραβολής (πίνακας σύγκρισης)	Ικανότητα σύγκρισης και ομαδοποίησης χαρακτηριστικών	«Συμπλήρωσε τις ομοιότητες και διαφορές μεταξύ φυτικού και ζωικού κυττάρου.»
Διαδικασίες της επιστήμης	Παρατήρηση και αναγνώριση μεταβλητών	Εικονικό μικροσκόπιο / AR περιβάλλον	Παρατηρητικές δεξιότητες, εντοπισμός κρίσιμων στοιχείων	Οι μαθητές εξετάζουν AR μοντέλο και εντοπίζουν ποια οργανίδια διαφέρουν μεταξύ των δύο τύπων κυττάρου.
	Διατύπωση υποθέσεων	Ερώτηση ανοικτού τύπου («τι θα συμβεί αν...»)	Ικανότητα πρόβλεψης και λογικής αιτιολόγησης	«Τι θα συνέβαινε αν ένα κύτταρο δεν είχε μιτοχόνδρια;»
	Πειραματισμός και διερεύνηση	Εικονικό ή διαδραστικό πείραμα	Ικανότητα ελέγχου μεταβλητών και ερμηνείας	Οι μαθητές μεταβάλλουν τη φωτεινότητα και παρατηρούν την παραγωγή ενέργειας στους χλωροπλάστες.

Διάσταση	Δείκτης	Είδος ερώτησης ή δραστηριότητας	Τι μετρά	Παράδειγμα εφαρμογής
	Ερμηνεία και αξιολόγηση δεδομένων	Ανάλυση αποτελεσμάτων / γραφημάτων	Κριτική σκέψη και εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων	Οι μαθητές ερμηνεύουν γράφημα που δείχνει τη λειτουργία οργανιδίων σε διαφορετικές συνθήκες.
	Επικοινωνία επιστημονικών αποτελεσμάτων	Δραστηριότητα παρουσίασης ή αφίσας	Χρήση επιστημονικής ορολογίας, επιχειρηματολογία	Οι μαθητές παρουσιάζουν στην τάξη τα αποτελέσματα των παρατηρήσεών τους για τα κύτταρα.
Φύση της επιστήμης	Επιστήμη ως ανθρώπινη δραστηριότητα	Ερώτηση κατανόησης ή ιστορικής αναφοράς	Αντίληψη για τον ρόλο της ανθρώπινης δραστηριότητας στην επιστήμη	«Ποιος πρώτος παρατήρησε τα κύτταρα και με ποιο εργαλείο;»
	Μεταβλητότητα της επιστημονικής γνώσης	Ερώτηση κρίσεως / χρονικής σύγκρισης	Κατανόηση της εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης	«Πώς άλλαξε η αντίληψη για το κύτταρο από τον Hooke έως σήμερα;»
	Εμπειρική και τεκμηριωμένη βάση	Δραστηριότητα επιχειρηματολογίας	Ανάγκη τεκμηρίωσης των επιστημονικών ισχυρισμών	Οι μαθητές πρέπει να αιτιολογήσουν γιατί μια θεωρία είναι έγκυρη με βάση τα δεδομένα παρατήρησης.
	Ρόλος συνεργασίας στην επιστήμη	Ομαδική δραστηριότητα / συζήτηση	Κατανόηση συλλογικής φύσης της επιστήμης	Ομαδική ανάλυση παρατηρήσεων και διαμόρφωση κοινών συμπερασμάτων για τη λειτουργία των κυττάρων.

Πίνακας 2.4. Συσχέτιση δεικτών επιστημονικού εγγραμματισμού με τις τρεις διδακτικές προσεγγίσεις (Επαυξημένη Πραγματικότητα – Προσομοιώσεις – Συμβατική Διδασκαλία)

Διάσταση Επιστημονικού Εγγραμματισμού	Δείκτης	Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)	Εκπαιδευτικές Προσομοιώσεις	Συμβατική Διδασκαλία
1. Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης	Αναγνώριση οργανιδίων και λειτουργιών	Οπτικοποίηση 3D και διαδραστικός εντοπισμός μερών κυττάρου ενισχύουν τη μνήμη και τη χωρική κατανόηση.	Παρουσιάζει τα οργανίδια μέσα από κινούμενα γραφήματα και αλληλουχίες δράσεων.	Παρουσίαση μέσω πίνακα και εικόνων, περιορισμένη αλληλεπίδραση.
	Σχέση μορφής – λειτουργίας	Μαθητές παρατηρούν πώς αλλάζει η λειτουργία όταν μεταβάλλεται η μορφή (π.χ. απουσία χλωροπλάστη).	Εφαρμογές προσομοίωσης με παραμετρικές αλλαγές στα οργανίδια.	Ερμηνευτική συζήτηση χωρίς πειραματική επαλήθευση.
	Διάκριση φυτικού – ζωικού κυττάρου	Δυναμική αντιπαραβολή σε AR (επάλληλα μοντέλα).	Οπτική σύγκριση μέσω κινούμενων μοντέλων.	Πίνακας ομοιοτήτων – διαφορών, στατική προσέγγιση.
2. Διαδικασίες της επιστήμης	Παρατήρηση και αναγνώριση μεταβλητών	Διερεύνηση μέσα από χειρισμό 3D μοντέλων και AR μικροσκοπίου.	Πειραματισμός με ψηφιακές μεταβλητές (π.χ. φως, θερμοκρασία).	Παρατήρηση εικόνων ή διαφανειών, περιορισμένη εμπλοκή.
	Διατύπωση υποθέσεων και πρόβλεψη αποτελεσμάτων	Οι μαθητές προβλέπουν αλλαγές παρατηρώντας άμεσα τα AR μοντέλα.	Προβλέπουν αποτελέσματα αλλαγών σε προσομοιωμένα περιβάλλοντα.	Λεκτικές υποθέσεις χωρίς άμεση οπτική ανατροφοδότηση.
	Ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων	Συλλογή δεδομένων από AR δραστηριότητες και οπτικοποίηση σε γραφήματα.	Συστηματική παρακολούθηση πειραμάτων με δυναμικά δεδομένα.	Συζήτηση θεωρητικών αποτελεσμάτων ή αναφορά στο βιβλίο.

Διάσταση Επιστημονικού Εγγραμματισμού	Δείκτης	Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)	Εκπαιδευτικές Προσομοιώσεις	Συμβατική Διδασκαλία
	Επικοινωνία και τεκμηρίωση συμπερασμάτων	Παρουσίαση αποτελεσμάτων σε AR dashboards ή posters.	Δημιουργία αναφορών με ενσωματωμένα δεδομένα.	Προφορική αναφορά, χωρίς οπτική τεκμηρίωση.
3. Φύση της επιστήμης	Κατανόηση της εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης	Ενσωμάτωση ιστορικών προβολών (π.χ. εξέλιξη μικροσκοπίου σε AR).	Παρουσίαση ιστορικών δεδομένων σε βίντεο.	Μνεία σε βιβλιογραφικά αποσπάσματα, χωρίς βιωματικό στοιχείο.
	Ρόλος αποδείξεων και εμπειρικών δεδομένων	Ενεργή διερεύνηση και συλλογή “ψηφιακών αποδείξεων”.	Ανάλυση προσομοιωμένων πειραματικών δεδομένων.	Αναφορά σε αποτελέσματα χωρίς εμπειρική διαδικασία.
	Επιστήμη ως κοινωνική και συνεργατική δραστηριότητα	Συνεργατικές AR δραστηριότητες σε ομάδες (ομαδικές ανακαλύψεις).	Συνεργασία για ερμηνεία προσομοιώσεων και συμπερασμάτων.	Παραδοσιακή ατομική μάθηση ή ερωταποκρίσεις.
	Ανθρώπινος χαρακτήρας της επιστήμης	Εμπλουτισμένες δραστηριότητες με ιστορικά AR avatars επιστημόνων.	Παρουσίαση ιστορικών προσώπων σε διαφάνειες.	Αναφορά ονομάτων χωρίς βιωματικό πλαίσιο.

2.4 Εργαλεία μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού

Η παρούσα ενότητα εξετάζει κριτικά τις ποικίλες μεθοδολογίες και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την αξιολόγηση της κατανόησης και της εφαρμογής των επιστημονικών αρχών από το κοινό. Αυτά τα εργαλεία εκτείνονται σε ένα συνεχές φάσμα, από έρευνες αυτοαναφοράς και τυποποιημένα τεστ έως αξιολογήσεις που βασίζονται στην απόδοση, καθεμία από τις οποίες έχει σχεδιαστεί για να καταγράφει διαφορετικές πτυχές του επιστημονικού γραμματισμού, συμπεριλαμβάνοντας τη γνώση περιεχομένου, την κατανόηση των επιστημονικών πρακτικών και την ικανότητα εμπλοκής με την επιστήμη ως στοχαστικός πολίτης (Rouf et al., 2021). Ιστορικά, η εννοιολογική αντίληψη του επιστημονικού εγγραμματισμού έχει εξελιχθεί, αρχικά εστιάζοντας στη μετάδοση της επιστημονικής γνώσης και αργότερα διευρύνοντας την

ώστε να περιλαμβάνει τη χρησιμότητα της επιστημονικής κατανόησης σε κοινωνικά πλαίσια (Norambuena-Melénde et al., 2023). Η εξέλιξη αυτή απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση στη μέτρηση, η οποία προχωρά πέρα από την απλή ανάκληση γεγονότων στην αξιολόγηση της ικανότητας ενός ατόμου να εμπλέκεται σε επιστημονικά ζητήματα και να εφαρμόζει την επιστημονική συλλογιστική στην καθημερινή ζωή (Fausan et al., 2021). Συνεπώς, η ανάπτυξη ισχυρών και ψυχομετρικά ορθών εργαλείων αξιολόγησης είναι ύψιστης σημασίας για την ακριβή μέτρηση της αποτελεσματικότητας των πρωτοβουλιών εκπαίδευσης στις θετικές επιστήμες και τον εντοπισμό τομέων που απαιτούν περαιτέρω παιδαγωγική παρέμβαση (Gormally et al., 2012). Η πρόκληση έγκειται στον σχεδιασμό εργαλείων που μπορούν να διαφοροποιήσουν αποτελεσματικά μεταξύ μιας επιφανειακής εξοικείωσης με τις επιστημονικές έννοιες και μιας βαθύτερης, πιο θεμελιώδους κατανόησης του επιστημονικού ήθους, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης της εγγενούς αβεβαιότητας και της επαναληπτικής φύσης της επιστημονικής ανακάλυψης (Elhai, 2023). Επιπλέον, οι σύγχρονες συζητήσεις τονίζουν ολοένα και περισσότερο τη σημασία της αξιολόγησης όχι μόνο των γνώσεων των ατόμων για την επιστήμη, αλλά και του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζουν αυτές τις γνώσεις για να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να αξιολογούν κριτικά επιστημονικούς ισχυρισμούς σε έναν κόσμο που συχνά είναι κορεσμένος με παραπληροφόρηση (Kelp et al., 2023). Απαιτείται λοιπόν η ανάπτυξη εργαλείων αξιολόγησης που όχι μόνο μετρούν την ανάκληση γεγονότων, αλλά και αξιολογούν την ικανότητα ενός ατόμου να διακρίνει αξιόπιστες επιστημονικές πληροφορίες από την ψευδοεπιστήμη, μια κρίσιμη δεξιότητα σε μια εποχή ταχείας διάδοσης πληροφοριών (Elhai, 2023). Ο ορισμός του επιστημονικού εγγραμματισμού παραμένει αντικείμενο συνεχούς ακαδημαϊκού διαλόγου, με διάφορους μελετητές να δίνουν έμφαση σε διαφορετικά στοιχεία, που κυμαίνονται από τη βασική επιστημονική γνώση έως την ικανότητα τεχνολογικής εφαρμογής και κριτικής εμπλοκής με κοινωνικά ζητήματα (Snow & Dibner, 2016). Ωστόσο, ένα συνεπές νήμα σε αυτούς τους ορισμούς είναι η αναγνώριση ότι ο επιστημονικός εγγραμματισμός είναι απαραίτητος για την προσωπική λήψη αποφάσεων, τη συμμετοχή στα κοινά και την οικονομική παραγωγικότητα στη σύγχρονη κοινωνία (Turiman et al., 2012). Ως εκ τούτου, τα αποτελεσματικά εργαλεία μέτρησης πρέπει να αποτυπώνουν με ακρίβεια αυτές τις πολύπλευρες διαστάσεις, αντανakλώντας την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών από ένα άτομο, την ικανότητά του να εμπλέκεται σε επιστημονικές διαδικασίες και την ικανότητά του να

εφαρμόζει την επιστημονική κατανόηση στην αντιμετώπιση σύνθετων προκλήσεων του πραγματικού κόσμου (Anggraini et al., 2020). Οι ραγδαίες εξελίξεις στην επιστήμη και την τεχνολογία απαιτούν μια συνεχή επαναξιολόγηση των μεθοδολογιών αξιολόγησης, ώστε να διασφαλιστεί ότι παραμένουν σχετικές και αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τις εξελισσόμενες απαιτήσεις της επιστημονικής επάρκειας στην καθημερινή ζωή (Stylos et al., 2022). Συγκεκριμένα, τα σύγχρονα πλαίσια αξιολόγησης δίνουν πλέον ολόένα και μεγαλύτερη έμφαση στην ενσωμάτωση επιστημονικών πρακτικών, διατομεακών εννοιών και βασικών επιστημονικών ιδεών, γεγονός που παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις για τον σχεδιασμό και τη χρησιμότητα των αξιολογήσεων τόσο σε επίπεδο τάξης όσο και σε επίπεδο συστήματος (Pellegrino, 2013).

Η μετατόπιση αυτή απαιτεί μια πιο λεπτή προσέγγιση στον σχεδιασμό της αξιολόγησης, η οποία θα υπερβαίνει τις παραδοσιακές ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και θα ενσωματώνει εργασίες που βασίζονται στην απόδοση και οι οποίες προκαλούν δεξιότητες σκέψης ανώτερου επιπέδου και ικανότητες επίλυσης προβλημάτων, ευθυγραμμιζόμενες με τη διεπιστημονική φύση της σύγχρονης επιστημονικής έρευνας. Επιπλέον, τα αποτελεσματικά εργαλεία αξιολόγησης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης, ένα θεμελιώδες συστατικό του επιστημονικού εγγραμματισμού που επιτρέπει στα άτομα να εντοπίζουν προβλήματα, να επαληθεύουν έννοιες και να κατασκευάζουν νέες γνώσεις (Dewanti et al., 2021). Αυτή η ολιστική άποψη υπογραμμίζει τη σημασία των εργαλείων αξιολόγησης που μπορούν να μετρήσουν όχι μόνο τη γνωστική κατανόηση αλλά και την εφαρμογή της επιστημονικής συλλογιστικής σε ποικίλα πλαίσια (Turiman et al., 2012). Επιπλέον, η ενσωμάτωση κοινωνικών και επιστημονικών ζητημάτων στις αξιολογήσεις έχει αποκτήσει εξέχουσα θέση, αναγνωρίζοντας ότι οι επιστημονικά εγγράμματοι πολίτες πρέπει να συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων για κοινωνικά ζητήματα που βασίζονται στην επιστήμη, κάτι που συχνά απαιτεί μια σύνθεση της επιστημονικής γνώσης με ηθικές και κοινωνικές παραμέτρους (Owens et al., 2020). Τέτοιες αξιολογήσεις συχνά χρησιμοποιούν σύνθετα σενάρια που απαιτούν από τους εξεταζόμενους να αναλύουν δεδομένα, να αξιολογούν αποδεικτικά στοιχεία και να διατυπώνουν αιτιολογημένα επιχειρήματα, αντικατοπτρίζοντας τις προκλήσεις του πραγματικού κόσμου που αντιμετωπίζουν οι ενημερωμένοι πολίτες. Οι νέες προσεγγίσεις για τη διδασκαλία και την αξιολόγηση επιστημονικών δεξιοτήτων και πρακτικών είναι κρίσιμες για την παραγωγή επιστημονικά εγγράμματος πολιτών και η τρέχουσα έρευνα υπογραμμίζει

την αναγκαιότητα ανάπτυξης συνδυασμένων, πολλαπλών απαντήσεων ερωτήσεων αξιολόγησης που ενσωματώνουν επιστημονικές πρακτικές με εννοιολογική γνώση (Rainey et al., 2020). Αυτό απαιτεί την απομάκρυνση από τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης που επικεντρώνονται κυρίως στην ανάκληση περιεχομένου, και την στροφή προς όργανα που μπορούν να μετρήσουν αποτελεσματικά την εφαρμογή της επιστημονικής συλλογιστικής και την ικανότητα συμμετοχής σε επιστημονικό διάλογο. Η επίμονη πρόκληση, ωστόσο, έγκειται στη δημιουργία μεθοδολογιών αξιολόγησης που μπορούν να αποτυπώσουν αξιόπιστα και έγκυρα αυτές τις σύνθετες, ανώτερης τάξης γνωστικές ικανότητες, οι οποίες συχνά εκτείνονται πέρα από το πεδίο εφαρμογής των παραδοσιακών ψυχομετρικών μοντέλων (Hambleton, 2000). Αυτή η μετατόπιση προς την αξιολόγηση γνωστικών δεξιοτήτων ανώτερης τάξης, όπως η κριτική αξιολόγηση, η επίλυση προβλημάτων και η λήψη αποφάσεων, απαιτεί καινοτόμα σχέδια αξιολόγησης που υπερβαίνουν την παραδοσιακή μέτρηση της απόκτησης γνώσης (Zoller, 2015). Κατά συνέπεια, υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για την ανάπτυξη εργαλείων αξιολόγησης που είναι ικανά να αξιολογούν όχι μόνο τι γνωρίζουν τα άτομα, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζουν επιστημονικές αρχές για την ανάλυση και ερμηνεία σύνθετων φαινομένων και τον τρόπο με τον οποίο συμμετέχουν στην επιστημονική επιχειρηματολογία (Jegstad, 2023).

Απαιτείται επαναξιολόγηση των υφιστάμενων πλαισίων αξιολόγησης, ώστε να ενσωματώνονται πιο αυθεντικά και προσαρμοσμένα στο πλαίσιο μέτρα, ξεπερνώντας τις αποσυνδεδεμένες εργασίες για την προσομοίωση πραγματικών επιστημονικών προκλήσεων (Thornhill-Miller et al., 2023). Μια σημαντική παραδειγματική αλλαγή στον σχεδιασμό της αξιολόγησης περιλαμβάνει τη μετάβαση προς τις αξιολογήσεις απόδοσης, οι οποίες χρησιμοποιούν εργασίες όπως χαρτοφυλάκια, σενάρια επίλυσης προβλημάτων και προφορικές παρουσιάσεις για την αξιολόγηση γνωστικών δεξιοτήτων ανώτερης τάξης που τα παραδοσιακά τεστ πολλαπλής επιλογής συχνά αποτυγχάνουν να καταγράψουν (Hambleton, 2000). Αυτές οι αξιολογήσεις που βασίζονται στην απόδοση, ενώ προσφέρουν μια πιο ολιστική άποψη του επιστημονικού εγγραμματισμού ενός ατόμου, εισάγουν πολυπλοκότητες στη βαθμολόγηση και την τυποποίηση, καθιστώντας απαραίτητη την εξερεύνηση αυτοματοποιημένων μεθοδολογιών βαθμολόγησης για να διασφαλιστεί η επεκτασιμότητα και η αξιοπιστία (Zenisky & Sireci, 2002). Επιπλέον, η ανάπτυξη ολοκληρωμένων προγραμμάτων αξιολόγησης απαιτεί ένα ποικίλο φάσμα μεθόδων, καθώς καμία μεμονωμένη

προσέγγιση δεν μπορεί να περιγράψει πλήρως την πολύπλευρη φύση της επιστημονικής ικανότητας (Schuwirth & Vleuten, 2018). Αυτό περιλαμβάνει την ενσωμάτωση άμεσων μετρήσεων της μάθησης των μαθητών, οι οποίες, παρά την αναγνωρισμένη αξία τους, παραμένουν λιγότερο συστηματικά χρησιμοποιούμενες σε σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις αξιολόγησης (Sundre & Thelk, 2010). Οι τεχνολογικές εξελίξεις προσφέρουν πολλά υποσχόμενες οδούς για την ενίσχυση του σχεδιασμού και της εφαρμογής αυτών των άμεσων μετρήσεων, ιδίως στη διευκόλυνση εργασιών που εμπλέκουν σύνθετες μορφές γνώσης και συλλογισμού, οι οποίες θα ήταν δύσκολο να αξιολογηθούν μέσω παραδοσιακών μεθόδων (Pellegrino et al., 2013). Οι ψηφιακές αξιολογήσεις, για παράδειγμα, μπορούν να αξιοποιήσουν διαδραστικές προσομοιώσεις και στοιχεία πολυμέσων για να δημιουργήσουν νέα ερεθίσματα και μορφές απόκρισης, διευρύνοντας το πεδίο κάλυψης της κατασκευής πέρα από αυτό που είναι εφικτό με τεστ σε χαρτί. Αυτή η εξέλιξη στη μεθοδολογία αξιολόγησης επιτρέπει την αξιολόγηση δυναμικών διαδικασιών και δεξιοτήτων που είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένες με την επιστημονική έρευνα, παρέχοντας ένα πιο ολοκληρωμένο και οικολογικά έγκυρο μέτρο επιστημονικής παιδείας (Goldhammer et al., 2020). Επιπλέον, η ενσωμάτωση αυθεντικής επιστημονικής έρευνας στις αξιολογήσεις, με στόχο συγκεκριμένα τις εργαστηριακές δεξιότητες όπως η διαχείριση πειραμάτων, η συλλογή δεδομένων και η ερμηνεία, προσφέρει μια ισχυρή προσέγγιση για τη μέτρηση των πρακτικών επιστημονικών ικανοτήτων. Τέτοιες αξιολογήσεις απόδοσης απαιτούν από τους μαθητές να εφαρμόζουν γνώσεις και δεξιότητες σε πραγματικές καταστάσεις, ξεπερνώντας την μηχανική απομνημόνευση για να αποδείξουν την ικανότητά τους για λογική σκέψη, επίλυση προβλημάτων και εφαρμογή προηγούμενης γνώσης σε νέα περιβάλλοντα (Huda et al., 2020). Η άνοδος των ηλεκτρονικών εξετάσεων επηρεάζει σημαντικά τη διαχείριση, τη βαθμολόγηση και την αναφορά των αξιολογήσεων, επιτρέποντας νέες μορφές στοιχείων και αυτοματοποιημένες μεθοδολογίες βαθμολόγησης που ενισχύουν την πιστότητα της μετρούμενης κατασκευής (Zenisky & Sireci, 2002). Αυτές οι τεχνολογικές καινοτομίες διευκολύνουν τη δημιουργία πλούσιων, διαδραστικών περιβαλλόντων αξιολόγησης που μπορούν να καταγράψουν δεδομένα διεργασίας, προσφέροντας έτσι μια πιο ολιστική αξιολόγηση της επιστημονικής κατανόησης και εφαρμογής (Goldhammer et al., 2020). Αυτό περιλαμβάνει την αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης για την ανάλυση σύνθετων συνόλων δεδομένων που παράγονται από αυτές τις αλληλεπιδράσεις, παρέχοντας βαθύτερες γνώσεις σχετικά με τις

μαθησιακές διαδικασίες και ενημερώνοντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στη διδασκαλία (Latif et al., 2025).

Οι δυνατότητες των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας ενισχύουν περαιτέρω αυτές τις ψηφιακές αξιολογήσεις, επιτρέποντας την ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τα διοικητικά βάρη και βελτιώνοντας την ψυχομετρική ποιότητα των τεστ μέσω πιο ακριβών και λεπτομερών αποτελεσμάτων (Timotheou et al., 2022). Τέτοιες εξελίξεις επιτρέπουν επίσης πιο ρεαλιστικές και σύνθετες αξιολογήσεις απόδοσης, ξεπερνώντας τους παραδοσιακούς περιορισμούς και επιτρέποντας τη μέτρηση περίπλοκων μαθησιακών δραστηριοτήτων (Behrens et al., 2019). Ωστόσο, ενώ η τεχνολογία προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για τη βελτίωση της αξιολόγησης, προκλήσεις όπως η διασφάλιση της σύγκρισης των βαθμολογιών σε διαφορετικούς τρόπους και ο μετριασμός πιθανών περισπασμών ή απάτης σε περιβάλλοντα που βασίζονται σε υπολογιστές πρέπει να αντιμετωπιστούν σχολαστικά (Tippins, 2015). Επιπλέον, οι επιπτώσεις στο κόστος της εφαρμογής σύνθετων αξιολογήσεων που βασίζονται στην απόδοση, ιδίως εκείνων που περιλαμβάνουν πρακτικά μέτρα, απαιτούν προσεκτική εξέταση της κατανομής των πόρων και ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών εναλλακτικών λύσεων (Stecher & Klein, 1997). Αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν επίσης την έγκαιρη παρέμβαση στη μαθησιακή διαδικασία, επιτρέποντας την αποτελεσματική αξιοποίηση των μαθησιακών πόρων και τη βελτιωμένη αξιολόγηση της απόδοσης (El-Kishawi et al., 2020). Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην αξιολόγηση εισάγει επίσης τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων παρακολούθησης, όπως μετρήσεων συμπεριφοράς από τις αλληλεπιδράσεις των χρηστών, τα οποία μπορούν να παρέχουν λεπτομερείς γνώσεις σχετικά με τις γνωστικές διαδικασίες και τις στρατηγικές επίλυσης προβλημάτων, εμπλουτίζοντας έτσι την ερμηνευσιμότητα των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης (König et al., 2020). Αυτή η εξελιγμένη συλλογή δεδομένων, που συχνά αναφέρεται ως δεδομένα διαδικασίας ή δεδομένα καταγραφής, επιτρέπει την ανάπτυξη προηγμένων ψυχομετρικών μοντέλων που μπορούν να συμπεράνουν υποκείμενες γνωστικές στρατηγικές και παρανοήσεις, ξεπερνώντας την απλή σωστή/λανθασμένη βαθμολόγηση (Goldhammer et al., 2020). Αυτό διευκολύνει μια πιο λεπτομερή κατανόηση του επιστημονικού εγγραμματισμού ενός ατόμου, επιτρέποντας στοχευμένες παρεμβάσεις και εξατομικευμένες μαθησιακές οδούς. Επιπλέον, αυτή η λεπτομερής ανάλυση δεδομένων υποστηρίζει την ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων αξιολόγησης που προσαρμόζονται δυναμικά στις

μεμονωμένες απαντήσεις των μαθητών, βελτιστοποιώντας την εμπειρία αξιολόγησης και παρέχοντας πιο ακριβείς μετρήσεις της επιστημονικής επάρκειας. Τέτοιες προσαρμοστικές μέθοδοι αξιολόγησης, που προέρχονται από την ψυχομετρία, προσαρμόζουν τις αξιολογήσεις επιλέγοντας τις πιο κατάλληλες και λιγότερες ερωτήσεις, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και μειώνοντας τον χρόνο αξιολόγησης, διατηρώντας παράλληλα υψηλή αξιοπιστία (Yu et al., 2025). Επιπλέον, αυτές οι εξελίξεις επιτρέπουν την ανάπτυξη διαχρονικών συστημάτων αξιολόγησης που παρακολουθούν την πρόοδο των μαθητών με την πάροδο του χρόνου, παρέχοντας ολοκληρωμένα προφίλ επιτευγμάτων και υποστηρίζοντας την υπευθυνότητα για τη διδασκαλία σε ολόκληρο το σύστημα (Darling-Hammond, 2010). Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογικών εργαλείων και μεθοδολογιών σε εκπαιδευτικές αξιολογήσεις μεγάλης κλίμακας σηματοδοτεί μια σημαντική εξέλιξη, η οποία μεταβαίνει από την υποστήριξη βασικών υποδομών στην ενεργοποίηση ποιοτικών αλλαγών και επανεφεύρεσης στις πρακτικές αξιολόγησης (Bennett, 2010).

Η μετασχηματιστική προσέγγιση στην αξιολόγηση όχι μόνο ενισχύει την ακρίβεια και το βάθος της μέτρησης του επιστημονικού εγγραμματισμού, αλλά ευθυγραμμίζει επίσης τις εκπαιδευτικές πρακτικές πιο στενά με τις απαιτήσεις μιας ολόενα και πιο πολύπλοκης και πλούσιας σε δεδομένα κοινωνίας. Απαιτείται μια συνεχής επαναξιολόγηση των πλαισίων αξιολόγησης, ώστε να διασφαλιστεί ότι παραμένουν προσαρμοσμένα στη δυναμική φύση της επιστημονικής κατανόησης και των τεχνολογικών εξελίξεων (Kaspi & Venkatraman, 2023). Έτσι, περιλαμβάνεται η συνεχής ανάπτυξη έγκυρων και αξιόπιστων εργαλείων που μπορούν να αποτυπώσουν την πολύπλευρη φύση του επιστημονικού εγγραμματισμού σε ποικίλα πλαίσια, διασφαλίζοντας ότι οι αξιολογήσεις αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τα επιδιωκόμενα μαθησιακά αποτελέσματα και παρέχουν εφαρμόσιμες γνώσεις για τους εκπαιδευτικούς και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής (Laverty et al., 2015). Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνικών συλλογής εκπαιδευτικών δεδομένων προσφέρει περαιτέρω δυνατότητες για την αυτόματη αξιολόγηση σύνθετων πρακτικών επιστημονικής έρευνας, ευθυγραμμιζόμενη με τα σύγχρονα εκπαιδευτικά πρότυπα και προωθώντας σημαντική πρόοδο στη μάθηση που βασίζεται στην έρευνα σε εθνικό επίπεδο (Li et al., 2018). Η ολοκληρωμένη κατανόηση των μεθοδολογιών αξιολόγησης είναι κρίσιμη για την προώθηση της εκπαιδευτικής μεταρρύθμισης και τη διασφάλιση ότι οι πρακτικές αξιολόγησης υποστηρίζουν πραγματικά τη μάθηση και την υπευθυνότητα των

μαθητών (Shavelson et al., 2008) (Pellegrino et al., 2014). Αυτή η έμφαση στην εγγραμματοσύνη αξιολόγησης εκτείνεται πέρα από την απλή κατανόηση των αποτελεσμάτων των εξετάσεων και περιλαμβάνει την ικανότητα σχεδιασμού, εφαρμογής και ερμηνείας ενός ευρέος φάσματος τύπων αξιολόγησης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αξιοποιούν προηγμένες τεχνολογίες, κάτι που είναι θεμελιώδες για τους ικανούς εκπαιδευτικούς στον 21ο αιώνα (Popham, 2009). Αυτό συνεπάγεται βαθιά γνώση των αρχών της αξιολόγησης, ικανότητα επιλογής κατάλληλων μεθόδων και εξειδίκευση στην ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών αξιολόγησης για την ενημέρωση των διδακτικών αποφάσεων (Efendi et al., 2017) (Zulaiha & Mulyono, 2020). Αυτός ο γραμματισμός αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως βασική ικανότητα για τους εκπαιδευτικούς, καθώς επηρεάζει άμεσα την ικανότητά τους να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις μαθησιακές ανάγκες των μαθητών και να βελτιώνουν τις διδακτικές πρακτικές (Sonnleitner & Kovacs, 2020) (Willis et al., 2013). Αυτό απαιτεί ένα ισχυρό πλαίσιο επαγγελματικής ανάπτυξης που καλλιεργεί υψηλό βαθμό γραμματισμού στην αξιολόγηση μεταξύ των εκπαιδευτικών, επιτρέποντάς τους να αξιοποιούν αποτελεσματικά ποικίλα εργαλεία αξιολόγησης και να ερμηνεύουν σύνθετα δεδομένα για να καθοδηγούν παιδαγωγικές στρατηγικές (Popham, 2009) (Pastore & Andrade, 2019). Αυτό υπογραμμίζει περαιτέρω την κρίσιμη ανάγκη για ολοκληρωμένη εκπαίδευση στις μεθόδους αξιολόγησης για τους εκπαιδευτικούς, η οποία θα υπερβαίνει τη βασική εξοικείωση και θα εμπλέκεται σε μια βαθιά εμπλοκή με τις θεωρητικές και πρακτικές πτυχές της αξιολόγησης (Popham, 2011). Αυτή η εξειδικευμένη εκπαίδευση είναι απαραίτητη για την καλλιέργεια μιας κουλτούρας που βασίζεται σε στοιχεία στα σχολεία, όπου οι πρακτικές που βασίζονται σε δεδομένα χρησιμοποιούνται συστηματικά για τη βελτίωση της απόδοσης των μαθητών.

2.5 Επαυξημένη Πραγματικότητα στην εκπαίδευση: Έννοιες και δυνατότητες

Η ΕΠ μετασχηματίζει ραγδαία πολλούς τομείς και η εκπαίδευση είναι έτοιμη να αποτελέσει έναν από τους τομείς που έχουν επηρεαστεί περισσότερο. Η ικανότητα της ΕΠ να επικαλύπτει ψηφιακό περιεχόμενο στον πραγματικό κόσμο προσφέρει πρωτοφανείς ευκαιρίες για τον εμπλουτισμό των μαθησιακών εμπειριών και την ενίσχυση της βαθύτερης κατανόησης (Kiryakova, 2020). Η ΕΠ αναδεικνύεται σε

ένα ισχυρό εργαλείο για τους εκπαιδευτικούς που επιδιώκουν να δημιουργήσουν πιο καθηλωτικά και διαδραστικά μαθησιακά περιβάλλοντα (Wei et al., 2021). Αυτή η τεχνολογία διευκολύνει την αλληλεπίδραση των χρηστών τόσο με εικονικές όσο και με πραγματικές εφαρμογές, προσφέροντας φυσικές εμπειρίες που αιχμαλωτίζουν τους μαθητές (Sarode et al., 2019). Οι εφαρμογές ΕΠ επιτρέπουν στους μαθητές να ασχολούνται με τρισδιάστατα σχέδια, πρωτότυπα και αρχιτεκτονικά μοντέλα, ενθαρρύνοντας την εξερεύνηση στο σχεδιασμό, τη μηχανική και την ψηφιακή κατασκευή (Palada et al., 2024). Παρουσιάζει μια νέα προσέγγιση στην εκπαίδευση, παρέχοντας στους μαθητές νέες προοπτικές μέσω της εικονικής πραγματικότητας και των διαδραστικών χαρακτηριστικών της (Zhang et al., 2020). Επιπλέον, η ενσωμάτωση της Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ) στο εκπαιδευτικό τοπίο εκτείνεται πέρα από την απλή τεχνολογική καινοτομία, ευθυγραμμιζόμενη εγγενώς με καθιερωμένες παιδαγωγικές θεωρίες όπως ο κονστρουκτιβισμός, η βιωματική μάθηση και η μάθηση βασισμένη στην έρευνα (Palada et al., 2024). Παρέχοντας διαδραστικές προσομοιώσεις, η ΕΠ ενισχύει την εμπλοκή των μαθητών και διευκολύνει την εκμάθηση περίπλοκων εννοιών σε διάφορους κλάδους (Thangavel, 2025).

Το μετασχηματιστικό δυναμικό της ΕΠ έγκειται στην ικανότητά της να καθιστά τις αφηρημένες έννοιες πιο απτές και προσβάσιμες στους μαθητές (Jesionkowska et al., 2020). Η ικανότητα οπτικοποίησης και αλληλεπίδρασης με εικονικά αντικείμενα σε ένα πραγματικό περιβάλλον ενθαρρύνει μια βαθύτερη κατανόηση και διατήρηση της γνώσης (Godoy, 2021). Οι εφαρμογές ΕΠ μπορούν να επικαλύψουν διαδραστικές προσομοιώσεις, κινούμενα σχέδια και οπτικοποιήσεις δεδομένων σε σχολικά βιβλία, φύλλα εργασίας και περιβάλλοντα τάξης, μετατρέποντας το παραδοσιακό μαθησιακό υλικό σε δυναμικές και συναρπαστικές εμπειρίες. Επιπλέον, η ΕΠ διευκολύνει τις εξατομικευμένες μαθησιακές εμπειρίες προσαρμόζοντας τις στις ατομικές ανάγκες των μαθητών και τα στυλ μάθησης. Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να χρησιμοποιούν εφαρμογές ΕΠ για να δημιουργούν προσαρμοσμένες μαθησιακές διαδρομές, να παρέχουν στοχευμένη ανατροφοδότηση και να προσφέρουν διαφοροποιημένη διδασκαλία για να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες μαθητών (Sontay & Karamustafaoğlu, 2021). Η καθηλωτική φύση της ΕΠ δημιουργεί μια αίσθηση παρουσίας και εμπλοκής που μπορεί να παρακινήσει τους μαθητές να συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή

διαδικασία. Οι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν εικονικά αντίγραφα ιστορικών αντικειμένων, να αναλύσουν εικονικούς οργανισμούς ή να διεξάγουν εικονικά πειράματα χωρίς τους περιορισμούς των φυσικών πόρων ή ανησυχιών για την ασφάλεια. Παρέχοντας στους μαθητές αυθεντικές, πρακτικές εμπειρίες σε εικονικά περιβάλλοντα, η ΕΠ ενισχύει τη βιωματική μάθηση (Palada et al., 2024).

Επιπρόσθετα, η ΕΠ δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να κατασκευάζουν ενεργά τη δική τους γνώση εξερευνώντας, πειραματιζόμενοι και επιλύοντας προβλήματα σε διαδραστικά περιβάλλοντα (Rahmi et al., 2021). Ουσιαστικά, οι εφαρμογές ΕΠ μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την κατανόηση των μαθητών σε σύνθετα θέματα, προωθώντας τη μάθηση σε συγκεκριμένο πλαίσιο και σε συγκεκριμένο χώρο, μέσω της επικάλυψης στοιχείων εικονικού και πραγματικού κόσμου σε μαθησιακές εργασίες, με στόχο την επίλυση προβλημάτων πραγματικής ζωής (Chang et al., 2022). Η χρήση της ΕΠ στην εκπαίδευση γίνεται ολοένα και πιο διαδεδομένη, προσφέροντας στους μαθητές καθηλωτικές αλληλεπιδράσεις που ενισχύουν την εμπλοκή και την κατανόηση. Το πλαίσιο για την ΕΠ στην εκπαίδευση περιλαμβάνει την καθηλωτική εμπειρία, την αλληλεπίδραση και την ενσωμάτωση (Palada et al., 2024). Καθώς το κόστος του υλικού ΕΠ μειώνεται, η προσβασιμότητά του στην εκπαίδευση είναι πιθανό να αυξηθεί, φέρνοντας επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές μαθαίνουν και αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους (Al-Ansi et al., 2023).

Η εφαρμογή της ΕΠ στην εκπαίδευση εκτείνεται σε διάφορους κλάδους, προσφέροντας εξατομικευμένες λύσεις για ποικίλους μαθησιακούς στόχους (Flores-Bascuñana et al., 2019). Στην εκπαίδευση STEM, η ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτικοποίηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών, την προσομοίωση πειραμάτων και την εξερεύνηση εικονικών μοντέλων μορίων, κυττάρων και ανατομικών δομών. Στις ιστορικές και κοινωνικές σπουδές, η ΕΠ μπορεί να μεταφέρει τους μαθητές σε αρχαίους πολιτισμούς, ιστορικά γεγονότα και πολιτιστικά ορόσημα, παρέχοντας καθηλωτικές και πλαισιωμένες μαθησιακές εμπειρίες. Η εκμάθηση γλωσσών μπορεί επίσης να επωφεληθεί από την ΕΠ μέσω διαδραστικών παιχνιδιών λεξιλογίου, εικονικών γλωσσικών συνεργατών και περιηγήσεων επαυξημένης πραγματικότητας σε ξένες χώρες. Η ΕΠ επίσης, ενισχύει την κατανόηση της φυσικής από τους μαθητές, αναλύοντάς την σε διαχειρίσιμες

διαστάσεις, διευκολύνοντας έτσι την κατανόηση λεπτών λεπτομερειών που διαφορετικά θα μπορούσαν να χαθούν. Οι φοιτητές ιατρικής, για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ΕΠ για να μελετήσουν περίπλοκες ανατομικές δομές πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους, και η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί σε ιστορικούς ναούς για αρχαιολογικές μελέτες (Yulianti et al., 2021). Η ικανότητα της τεχνολογίας να μετατρέπει οποιοδήποτε περιβάλλον σε μια μαθησιακή ευκαιρία, προσβάσιμη μέσω κινητών συσκευών τόσο εντός όσο και εκτός πανεπιστημιούπολης, ακόμη και σε κλινικό περιβάλλον, είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη (Aebersold et al., 2017). Συνεπώς, η ΕΠ συμβάλλει σημαντικά στη βιωματική και εξατομικευμένη μάθηση, προσαρμόζοντας τις μεθόδους διδασκαλίας ώστε να ταιριάζουν με τα ατομικά στυλ μάθησης.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Το υψηλό κόστος, οι τεχνικοί περιορισμοί και οι ηθικοί παράγοντες μπορούν να εμποδίσουν την ευρεία υιοθέτηση της ΕΠ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Thangavel, 2025). Η ανάπτυξη περιεχομένου ΕΠ υψηλής ποιότητας απαιτεί εξειδικευμένες δεξιότητες και πόρους, θέτοντας εμπόδιο για πολλούς εκπαιδευτικούς και ιδρύματα (Limbong et al., 2023). Επιπλέον, η χρήση συσκευών και εφαρμογών ΕΠ μπορεί να εγείρει ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων, την ασφάλεια και την προσβασιμότητα για μαθητές με αναπηρίες. Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και δίκαιη εφαρμογή της ΕΠ στην εκπαίδευση, η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών, υπευθύνων χάραξης πολιτικής και ηγετών του κλάδου είναι ζωτικής σημασίας. Αυτή η συνεργασία θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη παιδαγωγικών πλαισίων, στη δημιουργία προγραμμάτων κατάρτισης εκπαιδευτικών και στην αντιμετώπιση των ηθικών και τεχνικών προκλήσεων που σχετίζονται με την υιοθέτηση της ΕΠ (Thangavel, 2025). Ο σχεδιασμός των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα γνωστικής υπερφόρτωσης, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές δεν κατακλύζονται από την ποσότητα των πληροφοριών ή την πολυπλοκότητα των εργασιών (Wu et al., 2012). Οι προσδοκίες των χρηστών διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποδοχή της ΕΠ ως εργαλείου μάθησης, τονίζοντας την ανάγκη για καλά σχεδιασμένα συστήματα ΕΠ που να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών στην εκπαίδευση (Dalim et al., 2017). Τα τρέχοντα συστήματα ΕΠ συχνά

ενσωματώνουν πολλαπλές συσκευές υλικού και λογισμικού, περιπλέκοντας περαιτέρω την εφαρμογή τους (Wu et al., 2012).

Παρά αυτές τις προκλήσεις, τα πιθανά οφέλη της ΕΠ στην εκπαίδευση είναι αναμφισβήτητα (Alzahrani, 2020). Καθώς η τεχνολογία ΕΠ συνεχίζει να εξελίσσεται και να ωριμάζει, είναι έτοιμη να διαδραματίσει ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος της εκπαίδευσης. Η σύγκλιση της ΕΠ με άλλες αναδύμενες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση, θα μπορούσε να ξεκλειδώσει νέες δυνατότητες για εξατομικευμένες, προσαρμοστικές και καθηλωτικές μαθησιακές εμπειρίες (Ouf et al., 2025). Η συνεχής ανάπτυξη εφαρμογών ΕΠ επικεντρώνεται στην αντιμετώπιση των υφιστάμενων περιορισμών και στη μεγιστοποίηση του θετικού αντίκτυπου της τεχνολογίας στην εκπαίδευση (Garzón et al., 2017). Τέτοιες προσπάθειες είναι ζωτικής σημασίας για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού της ΕΠ στην ενίσχυση των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων. Η εξέλιξη της ΕΠ υπόσχεται πολλά για τη μεταμόρφωση του τοπίου της εκπαίδευσης, προσφέροντας καινοτόμους τρόπους για την ενίσχυση της διδασκαλίας και της μάθησης (Egunjobi & Adeyeye, 2024). Η ικανότητα της να επικαλύπτει ψηφιακό περιεχόμενο στον φυσικό κόσμο ανοίγει ένα πεδίο δυνατοτήτων για τη δημιουργία ελκυστικών, διαδραστικών και εξατομικευμένων μαθησιακών εμπειριών (Pan, 2022). Τα συστήματα ΕΠ αναπτύσσονται για τη βελτίωση των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων διευκολύνοντας την αυτοδιδασκαλία και την ανεξάρτητη μάθηση (Chetry, 2024). Αξιοποιώντας την τεχνολογία ΕΠ, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να δημιουργήσουν καθηλωτικά μαθησιακά περιβάλλοντα που καλύπτουν ποικίλα στυλ μάθησης και προάγουν την βαθύτερη κατανόηση σύνθετων εννοιών (Egunjobi & Adeyeye, 2024).

2.6 Εκπαιδευτικές προσομοιώσεις: ορισμός, τύποι, παιδαγωγική αξιοποίηση

Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις αντιπροσωπεύουν μια δυναμική και πολύπλευρη προσέγγιση στη μάθηση, όπου οι μαθητές ασχολούνται ενεργά με απλοποιημένα, αλλά αντιπροσωπευτικά, μοντέλα συστημάτων ή φαινομένων του πραγματικού κόσμου (Al-Elq, 2010). Αυτές οι προσομοιώσεις, που κυμαίνονται από

αναπαραστάσεις χαμηλής πιστότητας έως περιβάλλοντα υψηλής πιστότητας, προσφέρουν ένα φάσμα ευκαιριών στους μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες, να εξερευνήσουν έννοιες και να καλλιεργήσουν κριτική σκέψη σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον (Kim et al., 2016). Οι προσομοιώσεις ορίζονται ως τεχνητές αναπαραστάσεις σύνθετων διαδικασιών του πραγματικού κόσμου, σχεδιασμένες να διευκολύνουν τη μάθηση μέσω της εμπύθισης, της αναστοχασμού, της ανατροφοδότησης και της πρακτικής, μετριάζοντας παράλληλα τους εγγενείς κινδύνους που σχετίζονται με τις εμπειρίες της πραγματικής ζωής (Datta et al., 2012). Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις χρησιμεύουν ως ανεκτίμητα εργαλεία σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της ιατρικής, της μηχανικής, των κοινωνικών επιστημών και των επιχειρήσεων, παρέχοντας μια γέφυρα μεταξύ της θεωρητικής γνώσης και της πρακτικής εφαρμογής (Uzun & Uygun, 2022). Η παιδαγωγική αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων εξαρτάται από την ικανότητά τους να παρέχουν στους μαθητές ευκαιρίες για σκόπιμη εξάσκηση, σε συνδυασμό με εποικοδομητική ανατροφοδότηση, ενισχύοντας τελικά την εμπέδωση γνώσεων και την απόκτηση δεξιοτήτων (Tait et al., 2018). Η προσομοίωση αυθεντικών σεναρίων μπορεί να επιτρέψει στους επαγγελματίες υγείας να βελτιώσουν τις διαγνωστικές και θεραπευτικές τους δεξιότητες χωρίς να προκαλέσουν βλάβη σε πραγματικούς ασθενείς (Issenberg & Scalese, 2008).

Η τυπολογία των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων είναι ευρεία, περιλαμβάνοντας διάφορες μεθόδους και επίπεδα πιστότητας, καθένα από τα οποία εξυπηρετεί συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους και στοχευμένο κοινό. Οι προσομοιώσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το επίπεδο ρεαλισμού τους, κυμαινόμενοι από προσομοιώσεις χαμηλής πιστότητας, όπως ασκήσεις ρόλων και επιτραπέζια παιχνίδια, έως προσομοιώσεις υψηλής πιστότητας, συμπεριλαμβανομένων περιβαλλόντων εικονικής πραγματικότητας και εξελιγμένων προπλάσμάτων που μιμούνται φυσιολογικές αντιδράσεις (Abraham et al., 2011). Οι υβριδικές προσομοιώσεις συνδυάζουν διαφορετικές μεθόδους προσομοίωσης για να δημιουργήσουν μια πιο ρεαλιστική εμπειρία. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός τυποποιημένων ασθενών με φορητές συσκευές επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να εξασκούνται σε διαδικασίες ενώ αλληλεπιδρούν με ένα πραγματικό άτομο (Κουκουρίκος et al., 2021). Οι προσομοιώσεις εικονικής πραγματικότητας παρέχουν καθηλωτικά, διαδραστικά περιβάλλοντα που μοιάζουν πολύ με τα

πραγματικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας στους μαθητές να εξερευνούν και να χειρίζονται αντικείμενα, να αλληλεπιδρούν με εικονικούς χαρακτήρες και να βιώνουν ρεαλιστική αισθητηριακή ανατροφοδότηση. Οι προσομοιώσεις με τη βοήθεια υπολογιστή αντιπροσωπεύουν μια προσέγγιση υψηλής πιστότητας, εμφανίζοντας ζωτικά σημεία και αντιδράσεις στις θεραπείες (Zhang et al., 2022).

Οι προσομοιώσεις υψηλής πιστότητας έχουν αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την κριτική σκέψη και τις δεξιότητες κλινικής συλλογιστικής των φοιτητών σε σύνθετες καταστάσεις φροντίδας, καθώς και ενισχύουν την αυτοπεποίθησή τους και την αυτοπεποίθησή τους στις κλινικές τους ικανότητες (Lewis et al., 2012). Επιπλέον, η προσομοίωση προσφέρει την ευκαιρία να αναδημιουργηθούν σενάρια που σπάνια συναντώνται, αξιολογώντας τους επαγγελματίες σε απαιτητικές συνθήκες και διευκολύνοντας την σχολαστική αναθεώρηση των ενεργειών τους (Aggarwal et al., 2010). Η πρακτική της διαχείρισης πόρων σε καταστάσεις κρίσης, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ασφάλειας των ασθενών κατά τη διάρκεια κρίσιμων συμβάντων, μπορεί να διδαχθεί χρησιμοποιώντας προσομοίωση υψηλής πιστότητας (Burden, 2020). Οι προσομοιώσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην εκπαίδευση στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, όπου επιτρέπουν στους φοιτητές να εξασκούν κλινικές δεξιότητες, λήψη αποφάσεων και ομαδική εργασία σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον (Chavez, 2020). Η τεχνολογία προσομοίωσης βοηθά τους συμμετέχοντες να αποκτήσουν, να αναπτύξουν και να διατηρήσουν τις γνώσεις και τις δεξιότητες που είναι απαραίτητες για την ασφαλή και αποτελεσματική φροντίδα των ασθενών (Gunshin et al., 2020). Προάγουν επίσης την κριτική σκέψη, την επίλυση προβλημάτων και τις επικοινωνιακές δεξιότητες, οι οποίες είναι απαραίτητες για την επιτυχία στον χώρο εργασίας (Dante et al., 2022).

2.7 Συμβατική διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες

Οι συμβατικές μεθοδολογίες διδασκαλίας στις φυσικές επιστήμες, που χαρακτηρίζονται από διδακτικές διαλέξεις και μηχανική απομνημόνευση, ιστορικά έχουν χρησιμεύσει ως το θεμέλιο της επιστημονικής εκπαίδευσης, ωστόσο η αποτελεσματικότητά τους στην ενίσχυση της βαθιάς εννοιολογικής κατανόησης και των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης εξετάζεται ολοένα και περισσότερο. Η

παραδοσιακή μορφή διαλέξεων, όπου οι εκπαιδευτές παραδίδουν σχολαστικά προετοιμασμένους μονολόγους σε μεγάλο κοινό παθητικά δεκτικών μαθητών, αποτελεί κυρίαρχο τρόπο διδασκαλίας εδώ και αιώνες (Lom, 2012). Αυτή η προσέγγιση συχνά δίνει προτεραιότητα στη μετάδοση μιας τεράστιας ποσότητας πραγματικών πληροφοριών εντός περιορισμένου χρονικού πλαισίου, ενδεχομένως κατακλύζοντας τους μαθητές και εμποδίζοντας την ικανότητά τους να συνθέτουν και να εφαρμόζουν τη γνώση με νόημα (Abd-Mutalib et al., 2019). Η εξάρτηση από τα σχολικά βιβλία ως κύρια πηγή πληροφοριών ενισχύει περαιτέρω ένα παθητικό μαθησιακό περιβάλλον, όπου οι μαθητές αναμένεται να απορροφούν και να αναμασούν γεγονότα αντί να ασχολούνται ενεργά με την ύλη και να κατασκευάζουν τη δική τους κατανόηση (Wati et al., 2021). Η έμφαση στην απομνημόνευση, ενώ φαινομενικά αποτελεσματική για τις τυποποιημένες αξιολογήσεις, συχνά δεν καταφέρνει να καλλιεργήσει τις ανώτερες γνωστικές δεξιότητες που είναι απαραίτητες για την επιστημονική έρευνα και την επίλυση προβλημάτων (Knight & Wood, 2005). Οι εργαστηριακές ασκήσεις, οι οποίες αποσκοπούν στην παροχή πρακτικής εμπειρίας και στην ενίσχυση θεωρητικών εννοιών, μπορούν μερικές φορές να εξελιχθούν σε άκαμπτα πρωτόκολλα που επικεντρώνονται στην επαλήθευση προκαθορισμένων αποτελεσμάτων, ενισχύοντας ακούσια την ιδέα ότι η επιστήμη αφορά την επιβεβαίωση της υπάρχουσας γνώσης και όχι την εξερεύνηση του αγνώστου (Windschitl et al., 2008). Η συμβατική επιστημονική μέθοδος, με την έμφαση που δίνει στον έλεγχο πρόβλεψης και όχι στην εξερεύνηση ιδεών, μπορεί ακούσια να επικεντρώσει τους μαθητές σε υλική δραστηριότητα, ενώ παράλληλα χάνει μια βαθιά κατανόηση του θέματος.

Επιπλέον, η συμβατική προσέγγιση συχνά παραμελεί τον κρίσιμο ρόλο της μεταγνώσης και του στοχασμού στη μαθησιακή διαδικασία (Konak et al., 2013). Οι μαθητές ενδέχεται να μην ενθαρρύνονται επαρκώς να αξιολογούν κριτικά τη δική τους κατανόηση, να εντοπίζουν κενά γνώσης και να αναπτύσσουν αποτελεσματικές στρατηγικές μάθησης. Η έλλειψη εξατομικευμένης ανατροφοδότησης και εξατομικευμένων μαθησιακών εμπειριών μπορεί να επιδεινώσει περαιτέρω αυτές τις προκλήσεις, καθώς οι μαθητές με διαφορετικά στυλ μάθησης και υπόβαθρα μπορεί να δυσκολεύονται να ευδοκιμήσουν σε ένα ενιαίο εκπαιδευτικό περιβάλλον. Η υποεκπροσώπηση των πραγματικών επιστημονικών διαδικασιών στα σχολικά βιβλία, ιδίως σε ταχέως εξελισσόμενους τομείς όπως η μικροβιολογία, μπορεί να

οδηγήσει σε ανεπαρκή κατανόηση του αντικειμένου (Reina-Guzmán et al., 2022). Αυτό μπορεί να δυσκολέψει τους μαθητές να αισθάνονται συνολικά αφοσιωμένοι. Η πανδημία COVID-19 αποκάλυψε περαιτέρω τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας, καθώς η μετάβαση στην εξ αποστάσεως μάθηση ανέδειξε την ανάγκη για πιο διαδραστικές και ελκυστικές παιδαγωγικές προσεγγίσεις (Reina-Guzmán et al., 2022). Η μάθηση κατά τη διάρκεια της πανδημίας συχνά κυριαρχούνταν από παρουσιάσεις PowerPoint και φύλλα εργασίας, με περιορισμένες ευκαιρίες για μάθηση με βάση τα συμφραζόμενα (Anggraini & Susilowati, 2022). Οι συμβατικές μέθοδοι συχνά δίνουν προτεραιότητα στην απόκτηση γνώσεων έναντι της εφαρμογής, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε δυσκολίες στη μεταφορά της μάθησης στην τάξη σε σενάρια πραγματικού κόσμου. Εκτός από τις προκλήσεις που θέτει η παράδοση περιεχομένου, οι συμβατικές μέθοδοι διδασκαλίας μπορούν επίσης να διαιωνίσουν τις ανισότητες στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες.

Η μετάβαση από τις παραδοσιακές μεθοδολογίες διδασκαλίας σε πιο σύγχρονες, μαθητοκεντρικές προσεγγίσεις απαιτεί μια θεμελιώδη μετατόπιση στους ρόλους τόσο των εκπαιδευτών όσο και των μαθητών (Bradshaw et al., 2017). Οι εκπαιδευτές πρέπει να μεταβούν από το να είναι «σοφοί στη σκηνή» σε διευκολυντές της μάθησης, καθοδηγώντας τους μαθητές στη διαδικασία της κατασκευής γνώσης και της κριτικής έρευνας. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος στην τάξη που ενθαρρύνει την ενεργό συμμετοχή, τη συνεργασία και την ανάληψη πνευματικού ρίσκου. Οι μαθητές, με τη σειρά τους, πρέπει να αναλάβουν μεγαλύτερη ευθύνη για τη δική τους μάθηση, καθιστώντας τους ενεργούς συμμετέχοντες στη μαθησιακή διαδικασία και όχι παθητικούς δέκτες πληροφοριών. Ένας τέτοιος μετασχηματισμός περιλαμβάνει επίσης την ενθάρρυνση των μαθητών να αναπτύξουν ευέλικτες στρατηγικές μάθησης και να προσαρμοστούν σε διαφορετικά πολιτισμικά πρότυπα (Wang & Wu, 2022). Εάν δοθούν στους μαθητές εργαλεία για να είναι αυτοκατευθυνόμενοι, συνεργατικοί και ανοιχτοί σε διαφορετικές ιδέες, θα είναι καλύτερα προετοιμασμένοι να αντιμετωπίσουν μελλοντικά ερωτήματα (García-Ojeda & Nishiguchi, 2022). Η μετάβαση σε πιο ενεργές στρατηγικές διδασκαλίας μπορεί να δημιουργήσει ενδιαφέρον και να βοηθήσει τους μαθητές να κάνουν συνδέσεις μεταξύ της μάθησης από τα σχολικά βιβλία και του πραγματικού κόσμου (Donner & Imhoff, 2022). Η ενσωμάτωση της

τεχνολογίας στην τάξη των φυσικών επιστημών προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες για την ενίσχυση της εμπλοκής και την εξατομίκευση των μαθησιακών εμπειριών. Οι διαδικτυακές πλατφόρμες μάθησης, οι προσομοιώσεις και τα εργαλεία εικονικής πραγματικότητας μπορούν να προσφέρουν στους μαθητές καθηλωτικά και διαδραστικά μαθησιακά περιβάλλοντα που δεν ήταν διαθέσιμα προηγουμένως (Salandin, 2020). Αυτά τα εργαλεία μπορούν να διευκολύνουν την εξερεύνηση, τον πειραματισμό και την ανάλυση δεδομένων, επιτρέποντας στους μαθητές να αναπτύξουν μια βαθύτερη κατανόηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών. Επιπλέον, η τεχνολογία μπορεί να διευκολύνει τη συνεργασία και την επικοινωνία μεταξύ των μαθητών, ενισχύοντας το αίσθημα κοινότητας και την κοινή έρευνα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η τεχνολογία είναι απλώς ένα εργαλείο και η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνεται στο πρόγραμμα σπουδών και την παιδαγωγική προσέγγιση που χρησιμοποιείται. Η απουσία τεχνολογίας αποτελεί μειονέκτημα σε μια σύγχρονη τάξη (Alieto et al., 2024). Η απλή προσθήκη συσκευών στην τάξη δεν είναι αρκετή. Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να βοηθήσουν τους μαθητές να αποκτήσουν τις δεξιότητες για να χρησιμοποιούν οποιαδήποτε διαθέσιμη τεχνολογία για την επίλυση προβλημάτων (Looyesen & Rachid, 2022). Οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να επικεντρωθούν στον σχεδιασμό μαθημάτων και στην επιλογή υλικού που τηρεί τις βασικές διδακτικές αρχές κατά τη χρήση της τεχνολογίας ("Journal of Turkish Science Education," 2020). Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι η τεχνολογία στην εκπαίδευση θα πρέπει να υπερβαίνει την τάξη (Duan et al., 2022). Για να προετοιμάσουν τους μαθητές για το μέλλον, οι εκπαιδευτικοί πρέπει να αξιοποιήσουν κάθε ευκαιρία να ενσωματώσουν την τεχνολογία που θα χρησιμοποιούν οι μαθητές τους (Tomei, 2013).

Επιπλέον, η διδασκαλία που βασίζεται στην τεχνολογία αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης («Journal of Education and Learning (EduLearn),» 2021). Είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη και να ενσωματώνεται η τεχνολογία στο πρόγραμμα σπουδών (Ruiz-Rojas et al., 2024). Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας και των δεξιοτήτων του εικοστού πρώτου αιώνα τονίζεται από πολλές πολιτείες και περιφέρειες ως μέρος του προγράμματος σπουδών τους, σε μια προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα μαθησιακό περιβάλλον που να συνάδει με τις απαιτήσεις ενός ολοένα και πιο ψηφιακού κόσμου (Liunokas et

al., 2021). Η λειτουργική χρήση της τεχνολογίας στην εκπαίδευση μπορεί να είναι δυνατή μόνο εάν οι εκπαιδευτικοί, ως οι κύριοι παράγοντες των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, διαθέτουν επαρκείς τεχνολογικές γνώσεις και δεξιότητες και συνδυάζουν αυτές τις τεχνολογικές γνώσεις και δεξιότητες με το περιεχόμενο των μαθημάτων και τις κατάλληλες παιδαγωγικές προσεγγίσεις (Adalar, 2021). Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη διδασκαλία και τη μάθηση μπορεί να ενισχυθεί μέσω της δημιουργίας προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης για εκπαιδευτικούς, της παροχής επαρκούς τεχνικής υποστήριξης και της ανάπτυξης προγραμμάτων σπουδών πλούσιων σε τεχνολογία (Alazmi & Alemtairy, 2024). Όταν οι εκπαιδευτικοί ενσωματώνουν την τεχνολογία στις εκπαιδευτικές τους προσεγγίσεις, οι τεχνολογικές τους γνώσεις και δεξιότητες παίζουν σημαντικό ρόλο (Hassan, 2024). Η ιδέα της «διδακτικής τεχνολογίας» αναφέρεται στα μέσα που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της επανάστασης της τεχνολογίας επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των υπολογιστών, των ταινιών, της τηλεόρασης, των προβολέων και άλλων στοιχείων «υλικού και λογισμικού» που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διδακτικούς σκοπούς σε συνδυασμό με σχολικά βιβλία, μαυροπίνακα και μεθόδους διδασκαλίας που βασίζονται σε εκπαιδευτικούς (İNCE-MUSLU & Erduran, 2020).

2.8 Βασικές διαφορές μεταξύ Επαυξημένης Πραγματικότητας και εκπαιδευτικών ψηφιακών προσομοιώσεων

Η ΕΠ επικαλύπτει ψηφιακές πληροφορίες στο φυσικό περιβάλλον, ενώ οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις γενικά δημιουργούν εξ ολοκλήρου εικονικά σενάρια που αντικαθιστούν τον πραγματικό κόσμο (Huang & Tseng, 2025). Κατά συνέπεια, η ΕΠ βασίζεται σε συσκευές που συνδυάζουν εικονικές επικαλύψεις με την αντίληψη του πραγματικού κόσμου, ενώ οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις συνήθως απαιτούν οθόνες τοποθετημένες στο κεφάλι ή στην επιφάνεια εργασίας που βυθίζουν τον μαθητή σε ένα πλήρως συνθετικό περιβάλλον (İntepe & Demirgöl, 2025). Επιπλέον, η ΕΠ επιτρέπει στους μαθητές να χειρίζονται ή να αναφέρουν φυσικά αντικείμενα παράλληλα με ψηφιακές επικαλύψεις, ενώ οι προσομοιώσεις περιορίζουν την αλληλεπίδραση σε εξ ολοκλήρου εικονικά στοιχεία (Jaldemark et al., 2022). Έτσι, η ΕΠ διευκολύνει την εντοπισμένη μάθηση ενσωματώνοντας ψηφιακά σήματα σε πραγματικά περιβάλλοντα, ενώ οι καθαρά εικονικές προσομοιώσεις προσφέρουν

αφηρημένα περιβάλλοντα χωρίς άμεσες φυσικές αναφορές (Onu et al., 2023). Αντίθετα, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις απαιτούν γενικά πλήρη αισθητηριακή εμπύθιση και δεν έχουν την ικανότητα ενσωμάτωσης απτών αντικειμένων (Taggart et al., 2023). Αυτή η διάκριση υπογραμμίζει ότι ενώ η ΕΠ ενισχύει την αντίληψη προσθέτοντας ψηφιακό περιεχόμενο στην πραγματικότητα, οι ψηφιακές προσομοιώσεις στοχεύουν στην αντικατάσταση της πραγματικότητας με ένα κατασκευασμένο εικονικό περιβάλλον, παρέχοντας μια καθηλωτική εμπειρία (Chen et al., 2022). Αυτή η θεμελιώδης απόκλιση στην προσέγγιση υπαγορεύει ξεχωριστές παιδαγωγικές εφαρμογές: Η ΕΠ είναι πολλά υποσχόμενη για τομείς που απαιτούν χωρική και συμφραζόμενη κατανόηση, όπως ο αστικός σχεδιασμός, ενισχύοντας τις αντιλήψεις του πραγματικού κόσμου με εικονικά δεδομένα (Imbesi et al., 2023), ενώ οι προσομοιώσεις είναι πιο κατάλληλες για σενάρια όπου ένα πλήρες, ελεγχόμενο εικονικό περιβάλλον είναι απαραίτητο για την εκπαίδευση, όπως οι χειρουργικές επεμβάσεις (Aebersold et al., 2017) (Motejlek & Alpay, 2021). Επομένως, η ΕΠ ενσωματώνει εικονικό περιεχόμενο απευθείας σε μια εικόνα του πραγματικού κόσμου, συχνά μέσω κινητών συσκευών ή απτών εγκαταστάσεων για την ενίσχυση των επισκέψεων σε εκθέσεις ή την υποστήριξη της εξερεύνησης χώρων (Petrelli, 2019).

Αντίθετα, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις δημιουργούν ένα πλήρως καθηλωτικό ψηφιακό περιβάλλον όπου οι χρήστες μπορούν να εξερευνήσουν και να αλληλεπιδράσουν με περιεχόμενο που δημιουργείται από υπολογιστή, συχνά για εκπαίδευση ή μάθηση βασισμένη σε σενάρια (Triviño-Tarradas et al., 2021). Αυτή η διάκριση είναι κρίσιμη, καθώς η ΕΠ διατηρεί τη σύνδεση του χρήστη με τον φυσικό κόσμο ενσωματώνοντας εικονικά στοιχεία, διευκολύνοντας έτσι αυθεντικές μαθησιακές εμπειρίες και εξατομικευμένη διδασκαλία (Alibraheim et al., 2023) (Arshad et al., 2024). Αντίθετα, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις, ενώ παρέχουν ελεγχόμενα και επαναλήψιμα σενάρια μάθησης, μερικές φορές δεν έχουν την άμεση εφαρμογή σε πραγματικά περιβάλλοντα που προσφέρει η ΕΠ, περιορίζοντας έτσι ορισμένους τύπους βιωματικής μάθησης (Palada et al., 2024). Η παιδαγωγική αξία της ΕΠ έγκειται στην ικανότητά της να μετατρέπει τη μάθηση σε μια δυναμική, εξατομικευμένη εμπειρία, ενισχύοντας το κίνητρο, τη συμμετοχή και τη διατήρηση της γνώσης σε διαφορετικά στύλ μάθησης (Arshad et al., 2024). Επιπλέον, τα συστήματα ΕΠ συμπληρώνουν αντί να αντικαθιστούν την πραγματικότητα, προσφέροντας μια μη εμπυθιστική βελτίωση της αντίληψης του χρήστη για το πραγματικό του περιβάλλον,

επικαλύπτοντάς το με εικονικό περιεχόμενο (Marji et al., 2023). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στην ΕΠ να μειώνει τα σφάλματα, να μειώνει το γνωστικό φορτίο και να επιταχύνει την ολοκλήρωση εργασιών σε σύγκριση με τις παραδοσιακές δισδιάστατες διεπαφές επιφάνειας εργασίας (Guo et al., 2024). Ωστόσο, η ανάπτυξη περιεχομένου ΕΠ υψηλής ποιότητας απαιτεί επάρκεια στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη ΕΠ, σε συνδυασμό με μια βαθιά κατανόηση του αντικειμένου (Arshad et al., 2024). Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η τεχνολογία ΕΠ εξακολουθεί να αντιμετωπίζει εμπόδια, όπως το υψηλό κόστος ανάπτυξης, την ανάγκη για εκτεταμένες υποδομές και την απαίτηση οι εκπαιδευτικοί να προσαρμοστούν σε νέες μεθοδολογίες διδασκαλίας (Arshad et al., 2024). Αυτές οι προκλήσεις υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτιστοποίηση των εφαρμογών ΕΠ για ευρεία εκπαιδευτική ολοκλήρωση (Titchiev et al., 2023). Ομοίως, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις αντιμετωπίζουν εμπόδια που σχετίζονται με τα έξοδα ανάπτυξης και την ανάγκη για εξειδικευμένη τεχνική εμπειρογνομosύνη, απαιτώντας συχνά σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους και ισχυρή δικτυακή υποδομή για βέλτιστη απόδοση (Thangavel, 2025). Παρά τα εμπόδια αυτά, οι συνεχιζόμενες τεχνολογικές εξελίξεις είναι έτοιμες να μετριάσουν αυτά τα ζητήματα, καθιστώντας τόσο τις εφαρμογές ΕΠ όσο και τις εκπαιδευτικές προσομοιώσεις πιο προσβάσιμες και φιλικές προς το χρήστη για ποικίλα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Arshad et al., 2024) (Schwaiger et al., 2024). Επιπλέον, η κλιμακούμενη υιοθέτηση τεχνολογιών επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας σε διάφορους εκπαιδευτικούς τομείς υπογραμμίζει τη δυνατότητά τους να φέρνουν επανάσταση στις παιδαγωγικές προσεγγίσεις μέσω καθηλωτικών ψηφιακών εμπειριών και διαδραστικών περιβαλλόντων (Al-Ansi et al., 2023) (Thangavel, 2025). Αυτή η αυξανόμενη ενσωμάτωση αντανακλά μια ευρύτερη στροφή προς τα παραδείγματα βιωματικής μάθησης, όπου η τεχνολογία διευκολύνει την ενεργό συμμετοχή και την κατανόηση των συμφραζομένων (Kamińska et al., 2023) (Arshad et al., 2024). Η βασική διάκριση έγκειται στην ικανότητα της ΕΠ να συγχωνεύει ψηφιακά στοιχεία με το άμεσο φυσικό περιβάλλον, εμπλουτίζοντας έτσι την παρατήρηση του πραγματικού κόσμου, ενώ οι ψηφιακές προσομοιώσεις κατασκευάζουν εξ ολοκλήρου εικονικούς κόσμους για καθηλωτικές εμπειρίες. Αυτή η θεμελιώδης διαφορά σημαίνει ότι η ΕΠ συχνά χρησιμεύει ως ένα ισχυρό εργαλείο για επιτόπια μάθηση και εκπαίδευση σε συγκεκριμένο πλαίσιο, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με εικονικές

πληροφορίες που ενσωματώνονται άψογα στο πραγματικό τους περιβάλλον (Birt et al., 2024).

Αντίθετα, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις υπερέχουν στην παροχή ασφαλών, ελεγχόμενων και επαναλήψιμων περιβαλλόντων για την εξάσκηση σύνθετων δεξιοτήτων ή την εξερεύνηση αφηρημένων εννοιών χωρίς τους περιορισμούς της φυσικής πραγματικότητας (Goud et al., 2023). Επιπλέον, η μοναδική ικανότητα της ΕΠ να επικαλύπτει εικονικές πληροφορίες σε φυσικά αντικείμενα ενισχύει τη χωρική συλλογιστική και τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων σε αυθεντικά πλαίσια, προσφέροντας ένα σημαντικό πλεονέκτημα για επιστημονικούς κλάδους που απαιτούν άμεση αλληλεπίδραση με τον φυσικό κόσμο (Свиридова et al., 2023). Για παράδειγμα, η ΕΠ μπορεί να εμφανίσει διαδραστικά τρισδιάστατα μοντέλα απευθείας μέσα σε μια τάξη, επιτρέποντας στους μαθητές να εξερευνήσουν σύνθετες δομές όπως η ανθρώπινη ανατομία σαν να ήταν φυσικά παρούσες, κάτι που μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την κατανόηση και τη μνήμη σε σύγκριση με τα παραδοσιακά εγχειρίδια. Αντίθετα, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις προσφέρουν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για τους μαθητές να εξασκήσουν δεξιότητες και να πειραματιστούν με σενάρια που μπορεί να είναι πολύ επικίνδυνα, δαπανηρά ή περίπλοκα για να αναπαραχθούν στον πραγματικό κόσμο, όπως η πλοήγηση ενός αεροσκάφους ή η εκτέλεση περίπλοκων χειρουργικών επεμβάσεων. Αυτές οι ξεχωριστές εφαρμογές υπογραμμίζουν ότι η ΕΠ ενισχύει ουσιαστικά την αντίληψη της υπάρχουσας πραγματικότητας, ενώ οι ψηφιακές προσομοιώσεις δημιουργούν ένα εντελώς νέο, διαδραστικό ψηφιακό περιβάλλον για μάθηση (Shankar, 2023). Η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση, επομένως, αντιπροσωπεύει μια σημαντική μετάβαση από τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας σε μια νέα εποχή που χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά διαδραστικές και συναρπαστικές μαθησιακές εμπειρίες, παρουσιάζοντας έναν κόσμο που μοιάζει με πραγματικότητα με πρόσθετες πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προβολή αντικειμένων σε εικονικά ή πραγματικά περιβάλλοντα (Arshad et al., 2024). Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση τόσο με τρισδιάστατα εικονικά όσο και με πραγματικά αντικείμενα διεγείρει το ενδιαφέρον των μαθητών και ενισχύει τη διατήρηση πληροφοριών σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά που βασίζονται σε κείμενο και εικόνα (Chen et al., 2024). Αυτή η καθηλωτική εμπλοκή υποστηρίζεται περαιτέρω από στοιχεία που υποδηλώνουν ότι η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη

συμμετοχή, το κίνητρο και τη διατήρηση της γνώσης των μαθητών, αποδεικνύοντας τη δυνατότητά της να ξεπεράσει τις παραδοσιακές και άλλες ψηφιακές μεθόδους μάθησης σε εκπαιδευτικό αντίκτυπο (Arshad et al., 2024). Αυτή η αυξημένη επίδραση αποδίδεται στην ικανότητα της ΕΠ να καθιστά τις αφηρημένες έννοιες πιο προσβάσιμες μέσω τρισδιάστατων προοπτικών, διαδίδοντας ταυτόχρονα τη γνώση και διευκολύνοντας την εκπαίδευση δεξιοτήτων για την προώθηση ανώτερων μαθησιακών αποτελεσμάτων (Chen et al., 2024).

Η απρόσκοπτη ενσωμάτωση εικονικών αντικειμένων στην απτή πραγματικότητα που παρέχεται από τα συστήματα ΕΠ δημιουργεί δυναμικές και διαδραστικές μαθησιακές εμπειρίες, αποδεικνύοντας ότι αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο που γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ εικονικού και πραγματικού κόσμου (Syskowski et al., 2024). Αυτή η ενσωμάτωση ενθαρρύνει μια καθηλωτική μαθησιακή εμπειρία, επιτρέποντας στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με επικαλυπτόμενες ψηφιακές πληροφορίες, ενισχύοντας έτσι την κατανόηση και τις γνωστικές τους αντιδράσεις (Baabdullah et al., 2021). Αυτή η αυξημένη εμπλοκή οδηγεί σε βελτιωμένη κατανόηση περιεχομένου, μακροπρόθεσμη διατήρηση μνήμης και βελτιωμένη συνεργατική μάθηση, αυξάνοντας τελικά το κίνητρο των μαθητών (Boboc et al., 2021) (Chin et al., 2020). Αντιθέτως, οι εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις κατασκευάζουν εξ ολοκλήρου συνθετικά περιβάλλοντα που συχνά σχεδιάζονται για να μιμούνται σενάρια πραγματικού κόσμου ή αφηρημένες έννοιες μέσα σε ένα πλήρως ελεγχόμενο και συχνά παιχνιδοποιημένο πλαίσιο, επιτρέποντας την επαναληπτική πρακτική και την άμεση ανατροφοδότηση. Αυτό το ελεγχόμενο περιβάλλον επιτρέπει τον σκόπιμο χειρισμό μεταβλητών και σεναρίων, παρέχοντας έναν ασφαλή χώρο στους μαθητές για να εξερευνήσουν τις συνέπειες και να βελτιώσουν τις δεξιότητες λήψης αποφάσεων χωρίς επιπτώσεις στον πραγματικό κόσμο (AlGerafi et al., 2023). Τέτοιες προσομοιώσεις είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες για την ανάπτυξη διαδικαστικών γνώσεων και στρατηγικής σκέψης, επιτρέποντας στους μαθητές να κατακτήσουν πολύπλοκες διαδικασίες μέσω επαναλαμβανόμενης εμπλοκής σε ένα περιβάλλον χωρίς συνέπειες (Choi-Lundberg et al., 2023). Επιπλέον, αυτές οι ψηφιακές προσομοιώσεις προσφέρουν απaráμιλλες ευκαιρίες για εξατομικευμένες μαθησιακές διαδρομές, προσαρμόζοντας στην ατομική πρόοδο του μαθητή και παρέχοντας στοχευμένη αποκατάσταση ή προηγμένες προκλήσεις, όπως απαιτείται (Bousquet et al., 2024). Τόσο η ΕΠ όσο και οι ψηφιακές

προσομοιώσεις έχουν βρεθεί ότι ενισχύουν σημαντικά την απόκτηση γνώσης και την αυτοαποτελεσματικότητα, υπογραμμίζοντας τις δυνατότητές τους να υποστηρίζουν συναρπαστικές και αποτελεσματικές μαθησιακές εμπειρίες (Czok & Weitzel, 2025). Ωστόσο, παρά τις κοινές τους δυνατότητες για εκπαιδευτικό εμπλουτισμό, οι βασικοί λειτουργικοί μηχανισμοί και τα εμπειρικά τους αποτελέσματα αποκλίνουν σημαντικά, καθιστώντας απαραίτητη μια πιο προσεκτική εξέταση των διακριτών παιδαγωγικών τους εφαρμογών. Η ΕΠ, με την υπέρθεση εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο, εμπλουτίζει τα απτά περιβάλλοντα με ψηφιακές πληροφορίες, μετατρέποντας έτσι την παθητική παρατήρηση σε μια διαδραστική και πλαίσιομένη μαθησιακή εμπειρία (Al-Ansi et al., 2023). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις, οι οποίες βυθίζουν τους χρήστες εξ ολοκλήρου σε ένα συνθετικό περιβάλλον, διευκολύνοντας έτσι την εξερεύνηση σεναρίων που είναι είτε μη πρακτικά είτε αδύνατο να αναπαραχθούν στην πραγματικότητα (Pyae et al., 2023). Έτσι, η ΕΠ αξιοποιεί τα υπάρχοντα φυσικά πλαίσια για να παρέχει πολυεπίπεδες πληροφορίες, ενισχύοντας την κατανόηση του πραγματικού κόσμου, ενώ οι προσομοιώσεις δημιουργούν εντελώς νέους εικονικούς κόσμους για ολοκληρωμένες, ελεγχόμενες μαθησιακές εμπειρίες.

3 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Εισαγωγή

Η παρούσα ενότητα περιγράφει τη συστηματική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή ανασκοπήσεων βιβλιογραφίας σχετικά με τον αντίκτυπο της ΕΠ, των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και των συμβατικών μεθόδων διδασκαλίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό. Κάθε ανασκόπηση πρόκειται να τηρήσει ένα αυστηρό πρωτόκολλο, συμπεριλαμβανομένων καθορισμένων στρατηγικών αναζήτησης, κριτηρίων επιλογής, μεθόδων εξαγωγής δεδομένων και τεχνικών σύνθεσης, για να διασφαλιστεί η ολοκληρωμένη κάλυψη και η ελαχιστοποίηση της μεροληψίας σε διαφορετικά σχέδια μελέτης. Συγκεκριμένα, αυτή η συστηματική προσέγγιση πρόκειται να περιλαμβάνει την αναζήτηση σε μεγάλες ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων, την εφαρμογή προκαθορισμένων κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού για την επιλογή σχετικών μελετών και τη συστηματική εξαγωγή σχετικών δεδομένων για την απάντηση στα ερευνητικά

ερωτήματα για καθεμία από τις τρεις ξεχωριστές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις (Henne et al., 2024). Αυτό διασφαλίζει μια συνεπή και διαφανή διαδικασία για τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και τη σύνθεση στοιχείων σχετικά με την αποτελεσματικότητα διαφόρων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματος (Garzón et al., 2017). Η πρώτη συστηματική ανασκόπηση θα διερευνήσει συγκεκριμένα την επίδραση της ΕΠ στον επιστημονικό εγγραμματοισμό (Wahyu et al., 2020). Η παρούσα ανασκόπηση μέσα από μια συστηματική ανάλυση θα προσπαθήσει να προσδιορίσει πώς οι εφαρμογές ΕΠ συμβάλλουν στη βελτιωμένη κατανόηση, την εμπλοκή και την ανάπτυξη πρακτικών δεξιοτήτων σε επιστημονικές έννοιες μεταξύ των μαθητών (Amores-Valencia et al., 2022). Θα εμβαθύνει επίσης στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ΕΠ, όπως η εμπύηση και η διαδραστικότητα, που διευκολύνουν τη βαθύτερη γνωστική επεξεργασία και ενισχύουν το κίνητρο στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών (Rodríguez-Saavedra et al., 2025). Επιπλέον, θα αξιολογήσει τα παιδαγωγικά πλαίσια που ενσωματώνουν βέλτιστα την ΕΠ για την ενίσχυση της εποικοδομητικής μάθησης και την αντιμετώπιση της ανάπτυξης ψηφιακών ικανοτήτων παράλληλα με την επιστημονική γνώση (Amores-Valencia et al., 2022). Η δεύτερη συστηματική ανασκόπηση θα επικεντρωθεί στον αντίκτυπο των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στον επιστημονικό εγγραμματοισμό, διερευνώντας πώς αυτά τα εργαλεία διευκολύνουν την πειραματική μάθηση, την εννοιολογική κατανόηση και τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες μέσω εικονικών περιβαλλόντων. Η παρούσα ανασκόπηση πρόκειται να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα διαφόρων τύπων προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που επιτρέπουν τον χειρισμό μεταβλητών και την παρατήρηση αποτελεσμάτων, στην ενίσχυση της επιστημονικής συλλογιστικής των μαθητών και της ικανότητάς τους να ερμηνεύουν σύνθετα δεδομένα, ευθυγραμμιζόμενη με μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται συχνά σε συστηματικές ανασκοπήσεις της εκπαιδευτικής τεχνολογίας (Cabrera-Duffaut et al., 2024). Θα εξετάσει επίσης τον ρόλο των προσομοιώσεων στην καλλιέργεια της παιδείας στα επιστημονικά δεδομένα, μια κρίσιμη πτυχή στο σύγχρονο επιστημονικό τοπίο όπου τα ογκώδη δεδομένα παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις (Qiao et al., 2024). Τέλος, η τρίτη συστηματική ανασκόπηση πρόκειται να διερευνήσει την επίδραση των συμβατικών μεθόδων διδασκαλίας στον επιστημονικό εγγραμματοισμό, παρέχοντας μια συγκριτική βάση έναντι της οποίας μπορούν να αξιολογηθούν οι επιδράσεις της ΕΠ

και των ψηφιακών προσομοιώσεων, θέτοντας έτσι σε ένα πλαίσιο τις πιθανές βελτιώσεις που προσφέρουν αυτές οι προηγμένες τεχνολογίες (Biagini, 2025). Αυτή η συγκριτική ανάλυση είναι απαραίτητη για την κατανόηση του κατά πόσον οι σύγχρονες τεχνολογικές παρεμβάσεις ξεπερνούν αποδεδειγμένα τις παραδοσιακές προσεγγίσεις στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού ή αν μια μικτή προσέγγιση θα μπορούσε να αποφέρει τα πιο ισχυρά αποτελέσματα (Hernández-Ramos et al., 2021). Επομένως, αυτό το ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο στοχεύει να παρέχει μια ισχυρή βάση για μια συγκριτική ανάλυση αυτών των διαφορετικών εκπαιδευτικών προσεγγίσεων, συμβάλλοντας τελικά σε μια πιο λεπτομερή κατανόηση αποτελεσματικών στρατηγικών για την ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού στον 21ο αιώνα. Η παρούσα προσέγγιση θα προσπαθήσει να εντοπίσει επίσης τυχόν κενά, καθοδηγώντας έτσι μελλοντικές έρευνες για τη βέλτιστη ενσωμάτωση της τεχνολογίας και της παραδοσιακής παιδαγωγικής για τη μεγιστοποίηση των αποτελεσμάτων του επιστημονικού εγγραμματισμού. Τα συλλογικά ευρήματα από αυτές τις τρεις ανασκοπήσεις πρόκειται να προσφέρουν μια ολιστική προοπτική στις ποικίλες επιπτώσεις διαφόρων διδακτικών στρατηγικών - από την εμβυθιστική ΕΠ έως τις παραδοσιακές μεθόδους στην τάξη - στην ικανότητα των μαθητών να κατανοούν και να εφαρμόζουν επιστημονικές αρχές (Ma et al., 2025). Επιπλέον, η σύνθεση θα υπογραμμίσει τη σημασία της διάκρισης μεταξύ διαφόρων πτυχών του επιστημονικού εγγραμματισμού, όπως η γνώση περιεχομένου, η διαδικαστική κατανόηση και οι επιστημολογικές πεποιθήσεις, κατά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών παιδαγωγικών εργαλείων. Συγκεκριμένα, θα διαφοροποιήσει τις επιδράσεις αυτών των εργαλείων στην επιστημονική εξήγηση των φαινομένων, στην αξιολόγηση και τον σχεδιασμό της επιστημονικής έρευνας και στην επιστημονική ερμηνεία δεδομένων και αποδεικτικών στοιχείων, ευθυγραμμίζόμενη με τα καθιερωμένα πλαίσια αναφορικά με τον επιστημονικό εγγραμματισμό (Acut & Antonio, 2023). Η λεπτομερής εξέταση θα αξιολογήσει κριτικά τον βαθμό στον οποίο κάθε παιδαγωγική προσέγγιση συμβάλλει στην ικανότητα ενός ατόμου να ασχολείται με ζητήματα που σχετίζονται με την επιστήμη ως στοχαστικός πολίτης (Ma et al., 2025). Αυτό περιλαμβάνει την ικανότητα αξιοποίησης της επιστημονικής γνώσης για την κατανόηση και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τον πραγματικό κόσμο, ένας στόχος που απαιτεί την εξέταση ποικίλων διδακτικών στρατηγικών. (Cerna et al., 2021).

Η συνεχής εξέλιξη της επιστημονικής βιβλιογραφίας και του επιστημονικού εγγραμματισμού υπογραμμίζει περαιτέρω την ανάγκη για ολοκληρωμένες ανασκοπήσεις προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα κενά και να υπάρχει ενημέρωση των μελλοντικών τάσεων στην εννοιολογική σύλληψη μιας επιστημονικά εγγράμματης κοινότητας και υπεύθυνων πολιτών (Li & Guo, 2021). Η παρούσα συστηματική προσέγγιση θα εξετάσει επίσης πώς αυτές οι διαφορετικές εκπαιδευτικές στρατηγικές συμβάλλουν στην ανάπτυξη των επιστημονικών πεποιθήσεων των μαθητών, οι οποίες είναι κρίσιμες για την κατανόηση της φύσης και της ανάπτυξης της επιστημονικής γνώσης (Schiefer et al., 2022). Περιλαμβάνεται επίσης ο έλεγχος του τρόπου με τον οποίο διαφορετικές προσεγγίσεις προάγουν την κατανόηση της επιστήμης ως μια δυναμική, βασισμένη σε τεκμήρια διαδικασία και όχι ως ένα στατικό σύνολο γεγονότων, επηρεάζοντας άμεσα την ικανότητα των μαθητών να ασχολούνται με κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα (Högström et al., 2024). Μια τέτοια ενασχόληση με σύνθετα κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των ικανοτήτων των μαθητών να αξιολογούν κριτικά τις επιστημονικές πληροφορίες και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, ειδικά όσον αφορά «κακά προβλήματα» που αψηφούν απλές λύσεις και εμπλέκουν κοινωνικές αξίες (Agustian, 2023). Αυτή η λεπτή κατανόηση του επιστημονικού εγγραμματισμού δίνει έμφαση όχι μόνο στην κατανόηση του περιεχομένου, αλλά και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης, επιχειρηματολογίας και κοινωνικοεπιστημονικής συλλογιστικής, οι οποίες είναι κρίσιμες για την αντιμετώπιση σύνθετων, πραγματικών προβλημάτων (Högström et al., 2024).

3.1 Επίδραση της Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ) στον επιστημονικό εγγραμματισμό

3.1.1 Εισαγωγή

Η ΕΠ αναδεικνύεται ως ένα μετασχηματιστικό εργαλείο στην εκπαίδευση, προσφέροντας μια καθηλωτική εμπειρία που ενσωματώνει εικονικά 3D στοιχεία στον φυσικό κόσμο. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ αφηρημένων εννοιών και απτών εμπειριών, καθιστώντας σύνθετα επιστημονικά θέματα πιο προσιτά και κατανοητά (Mansour et al., 2024). Στο πλαίσιο του επιστημονικού εγγραμματισμού, η ΕΠ εξετάζεται για την ικανότητά της να ενισχύει τις

γνωστικές, συναισθηματικές και συμπεριφορικές διαστάσεις της μάθησης (Zuo et al., 2025).

3.1.2 Μεθοδολογία αναζήτησης

Για την ολοκλήρωση της παρούσας βιβλιογραφικής ανάλυσης εξετάστηκαν εμπειρικές μελέτες οι οποίες αξιολογούν την επίδραση της ΕΠ σε αποτελέσματα που σχετίζονται με τον επιστημονικό εγγραμματισμό (έννοιες, διερευνητικές δεξιότητες, ερμηνεία δεδομένων, επιστημονική επιχειρηματολογία, στάσεις/κίνητρα). Χρησιμοποιήθηκαν βάσεις δεδομένων, όπως οι ακόλουθες: PubMed/Medline, Scopus, Web of Science, ERIC και Google Scholar. Οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά ήταν οι ακόλουθες: ("augmented reality" OR "AR") AND ("science" OR "biology" OR "physics" OR "chemistry" OR "environment*" OR "STEM") AND ("learning" OR "achievement" OR "scientific literacy" OR "science process" OR "motivation"). Τα κριτήρια ένταξης ήταν εμπειρικές μελέτες (RCT, quasi-experimental, προ-μετρήσεις/μετα-μετρήσεις με ομάδες σύγκρισης, και σημαντικές ποσοτικές/μικτές-μεθοδολογίες) που χρησιμοποιούν εφαρμογές ΕΠ σε επίσημο ή άτυπο πλαίσιο μάθησης της επιστήμης και μετράνε τουλάχιστον ένα αποτέλεσμα σχετικό με τον επιστημονικό εγγραμματισμό ή συναφείς παράγοντες (γνώσεις, δεξιότητες διερεύνησης, διάκριση υποθέσεων, ερμηνεία δεδομένων, στάσεις). Από την παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση εξαιρέθηκαν καθαρά τεχνικά papers χωρίς εκπαιδευτική αξιολόγηση και μελέτες οι οποίες επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη συστημάτων ή εφαρμογών ΕΠ χωρίς εμπειρικά δεδομένα.

3.1.3 Επιλεγμένες πρωτογενείς μελέτες

Παρακάτω εμφανίζονται λεπτομερείς εγγραφές για επιλεγμένες εμπειρικές μελέτες ΕΠ με έμφαση σε στοιχεία που ενδιαφέρουν ερευνητές/εκπαιδευτικούς: (έτος, χώρα, επίπεδο/ηλικία, μέγεθος δείγματος, design, περιγραφή παρέμβασης, μετρούμενα αποτελέσματα, βασικά ευρήματα, DOI).

Πίνακας 1 — 20 βασικές μελέτες / μετα-αναλύσεις για την Επαυξημένη Πραγματικότητα

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
1	Ibáñez & Kloos (2018)	Review	30+ μελέτες	—	AR ενισχύει inquiry-based learning & ενεργό συμμετοχή
2	Cai et al. (2020)	Empiri cal	280 μαθητές Γυμνασίου	6 εβδομάδες	AR ενίσχυσε ανώτερες γνωστικές δεξιότητες και self-efficacy
3	Chiang et al. (2014)	Empiri cal	128 μαθητές Δημοτικού	3 εβδομάδες	AR αύξησε συνεργατικότητα και ερευνητικές δεξιότητες
4	Yıldırım (2020)	Review	—	—	AR επηρεάζει θετικά γνωστική και συναισθηματική μάθηση
5	Altmeyer et al. (2020)	Empiri cal	100+ φοιτητές	—	AR labs ενίσχυσαν conceptual knowledge
6	Mansour et al. (2024)	Review	~50 μελέτες	—	AR βελτιώνει κατανόηση δύσκολων εννοιών και motivation

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
7	Zuo et al. (2025)	Meta- analysi s	45 studies	—	Μέσο effect size θετικό για engagement & learning outcomes
8	Yue et al. (2021)	Empiri cal	200 μαθητές Λυκείου	4 εβδομάδες	Αυξημένες θετικές στάσεις και απόλαυση μάθησης με AR
9	Dilmen & Atalay (2021)	Empiri cal	90 μαθητές	5 εβδομάδες	AR βελτίωσε δεξιότητες συνεργασίας και αυτοπεποίθηση
10	Papanastasiou et al. (2018)	Empiri cal	60 μαθητές Γυμνασίου	4 εβδομάδες	Ενίσχυση δεξιοτήτων 21ου αιώνα μέσω AR
11	Ibáñez et al. (2014)	Empiri cal	153 μαθητές Λυκείου	6 εβδομάδες	AR αύξησε motivation και performance στη φυσική
12	Wu et al. (2013)	Review	32 μελέτες	—	AR στην εκπαίδευση προωθεί immersion και active learning
13	Cheng & Tsai (2013)	Review	55 μελέτες	—	AR ενισχύει spatial ability και κατανόηση αφηρημένων εννοιών

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
14	Bressler & Bodzin (2013)	Empiri- cal	250 μαθητές	8 εβδομάδες	AR υποστήριξε inquiry learning σε περιβαλλοντική εκπαίδευση
15	Tarng & Ou (2012)	Empiri- cal	96 μαθητές	4 εβδομάδες	AR αύξησε engagement και science attitudes
16	Radu (2014)	Meta- analysi- s	26 studies	—	Θετικά effects σε motivation, attention, retention
17	Akçayır & Akçayır (2017)	Review	60+ μελέτες	—	AR challenges: τεχνικά ζητήματα, teacher training
18	Chen et al. (2020)	Empiri- cal	120 μαθητές	3 εβδομάδες	AR αύξησε inquiry skills σε biology
19	Martín- Gutiérrez et al. (2015)	Review	—	—	AR ενισχύει visualization & conceptual learning
20	Garzón & Acevedo (2019)	Meta- analysi- s	61 studies	—	Συνολικά θετικό effect size στην επίδοση των μαθητών

Σύντομη ανάλυση του πίνακα: Οι μελέτες πεδίου δείχνουν ότι όταν η ΕΠ ενσωματώνεται σε σχεδιασμένες δραστηριότητες πεδίου, παρατηρούνται βελτιώσεις σε επιστημονικές διαδικασίες, αυτο-αποτελεσματικότητα και κατανόηση εννοιολογικών θεμάτων. Ωστόσο, όταν η ΕΠ χρησιμοποιείται επιφανειακά ως 'όμορφο' VR/3D περιεχόμενο χωρίς διδακτική στήριξη, τα οφέλη στη βαθιά κατανόηση είναι πιο αδύναμα.

3.1.4 Επαυξημένη Πραγματικότητα στην εκπαίδευση: Επίδραση στον επιστημονικό εγγραμματισμό

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση εξετάζει το παιδαγωγικό δυναμικό των τεχνολογιών ΕΠ για την ενίσχυση της επιστημονικής κατανόησης και των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης μεταξύ των μαθητών σε διάφορα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, διερευνά πώς οι εφαρμογές ΕΠ διευκολύνουν την βαθύτερη ενασχόληση με επιστημονικές έννοιες, ενισχύουν τη μάθηση που βασίζεται στην έρευνα και τελικά συμβάλλουν στην ανάπτυξη ισχυρού επιστημονικού εγγραμματισμού. Η διερεύνηση αυτή χρησιμοποιεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση της υπάρχουσας έρευνας για να σκιαγραφήσει τους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι διεπαφές της ΕΠ ενισχύουν τις παραδοσιακές εκπαιδευτικές μεθοδολογίες, προετοιμάζοντας έτσι τους μαθητές για την πολυπλοκότητα των επιστημονικών προκλήσεων του 21ου αιώνα (Wahyu et al., 2020). Παρά τις πολλά υποσχόμενες εξελίξεις, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι υπάρχουσες προκλήσεις, όπως οι οικονομικές επιπτώσεις της απόκτησης συσκευών και η επιτακτική ανάγκη για ανάπτυξη εφαρμογών υψηλής ποιότητας που πραγματικά βελτιώνουν την μαθησιακή εμπειρία και όχι απλώς παρέχουν περισπασμούς. Για να αντιμετωπίσουν αυτούς τους περιορισμούς, οι ερευνητές διερευνούν οικονομικά αποδοτικές λύσεις, όπως εργαλεία ανάπτυξης ΕΠ ανοιχτού κώδικα, ενώ παράλληλα επικεντρώνονται σε παιδαγωγικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν την ενεργητική μάθηση, την επίλυση προβλημάτων και την κριτική σκέψη στις προσομοιώσεις ΕΠ (Arshad et al., 2024). Επιπλέον, η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες απαιτεί προσεκτική εξέταση του αντίκτυπού της στον ψηφιακό εγγραμματισμό, καθώς οι μαθητές πρέπει να αναπτύξουν τις ικανότητες για να πλοηγούνται και να ερμηνεύουν αποτελεσματικά τα επαυξημένα περιβάλλοντα (Chang et al., 2023). Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο τεχνική επάρκεια αλλά και την ικανότητα κριτικής αξιολόγησης των εικονικών

πληροφοριών που επικαλύπτονται από τα πραγματικά περιβάλλοντα, διακρίνοντας την αξιοπιστία και τη συνάφειά τους με την επιστημονική έρευνα (Mansour et al., 2024). Αυτή η κριτική αξιολόγηση επεκτείνεται στην κατανόηση των εγγενών προκαταλήψεων που μπορεί να ενσωματωθούν στις οπτικοποιήσεις και τις επικαλύψεις δεδομένων που δημιουργούνται από την ΕΠ, ενισχύοντας έτσι μια πιο λεπτή επιστημονική κατανόηση (Abinaya & Vadivu, 2023). Συνεπώς, η ανάπτυξη ισχυρού επιστημονικού εγγραμματισμού σε ένα εκπαιδευτικό τοπίο ενισχυμένο με την ΕΠ απαιτεί έμφαση στη μεταγνώση, ωθώντας τους μαθητές να αναλογιστούν πώς η ΕΠ μεσολαβεί στην αντίληψη και την κατανόηση των επιστημονικών φαινομένων (Arshad et al., 2024). Αυτό είναι ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας υπό το πρίσμα των προκλήσεων που θέτει η παραπληροφόρηση, καθώς η ΕΠ μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα ισχυρό εργαλείο για την καλλιέργεια κριτικής σκέψης και δεξιοτήτων επιχειρηματολογίας, παρουσιάζοντας σύνθετες επιστημονικές πληροφορίες σε μια προσβάσιμη και διαδραστική μορφή (Demircioğlu et al., 2022).

Για παράδειγμα, οι δραστηριότητες επιχειρηματολογίας που βασίζονται στην ΕΠ στα μαθήματα των φυσικών επιστημών, έχουν αποδειχθεί ότι αναπτύσσουν την κριτική σκέψη και τις ικανότητες επιχειρηματολογίας των μαθητών, ακόμη και εν μέσω προκλήσεων όπως η ταχεία μετάβαση στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση (Demircioğlu et al., 2022). Ενώ η υιοθέτηση της ΕΠ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα παρουσιάζει πολλές ευκαιρίες, η εφαρμογή της αντιμετωπίζει επίσης σημαντικά εμπόδια, όπως το σημαντικό κόστος που σχετίζεται με την τεχνολογία ΕΠ, την απαιτούμενη ολοκληρωμένη υποδομή και την απαιτητική διαδικασία για τους εκπαιδευτικούς να ενσωματώσουν αποτελεσματικά την ΕΠ στις διδακτικές τους προσεγγίσεις (Arshad et al., 2024). Παρά τις προκλήσεις αυτές, η καθηλωτική και διαδραστική φύση των προσομοιώσεων ΕΠ έχει επιδείξει σημαντική ικανότητα βελτίωσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους (Arshad et al., 2024). Πράγματι, η ξεχωριστή ικανότητα της ΕΠ να δημιουργεί καθηλωτικά, υβριδικά μαθησιακά περιβάλλοντα που συνδυάζουν άψογα ψηφιακά και φυσικά στοιχεία αποτελεί σημαντική υπόσχεση για την καλλιέργεια κρίσιμων δεξιοτήτων επεξεργασίας, όπως η κριτική σκέψη, η επίλυση προβλημάτων και η συνεργατική επικοινωνία (Akçayır & Akçayır, 2016). Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει στους φοιτητές να εφαρμόζουν θεωρητικές γνώσεις σε εικονικά σενάρια, γεφυρώνοντας έτσι το χάσμα μεταξύ αφηρημένων εννοιών και των απτών εφαρμογών τους στην επιστημονική

έρευνα (Badriyah et al., 2023). Η καθηλωτική φύση της ΕΠ διευκολύνει την βελτιωμένη διατήρηση της γνώσης και την ανάπτυξη δεξιοτήτων, ιδιαίτερα στους τομείς STEM, επιτρέποντας στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με σύνθετα επιστημονικά μοντέλα και δεδομένα με έναν απτό αλλά και ψηφιακό τρόπο (Thangavel, 2025). Η μοναδική ικανότητα παροχής διαδραστικών, πλακισωμένων μαθησιακών εμπειριών διακρίνει την ΕΠ από τις παραδοσιακές μεθόδους, ενθαρρύνοντας μια βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση και ενισχύοντας την εμπλοκή των μαθητών με το επιστημονικό περιεχόμενο. Αυτό το καθηλωτικό μαθησιακό περιβάλλον, όπου οι φοιτητές μπορούν να αλληλεπιδρούν με τρισδιάστατα μοντέλα και προσομοιώσεις, είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο για να καταστήσει τις αφηρημένες επιστημονικές έννοιες περισσότερο προσβάσιμες και κατανοητές (Chen et al., 2024). Για παράδειγμα, οι φοιτητές ιατρικής μπορούν να συμμετάσχουν σε εικονική χειρουργική πρακτική, αποκτώντας πρακτική εμπειρία χωρίς κινδύνους από την πραγματική ζωή, ενώ οι φοιτητές μηχανικής μπορούν να αναλύσουν περίπλοκα μηχανήματα για να κατανοήσουν τις αρχές σχεδιασμού (Arshad et al., 2024). Επιπλέον, η ΕΠ μπορεί να επιτρέψει στους μαθητές να οπτικοποιούν και να χειρίζονται σύνθετα σύνολα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας μια δυναμική και διαισθητική προσέγγιση στην ανάλυση επιστημονικών δεδομένων που υπερβαίνει τις παραδοσιακές δισδιάστατες αναπαραστάσεις. Αυτή η βελτιωμένη ικανότητα οπτικοποίησης και χειρισμού συμβάλλει άμεσα σε μια πιο βαθιά επιστημονική παιδεία, καθώς οι μαθητές μπορούν να παρατηρούν άμεσα τις επιπτώσεις διαφόρων παραμέτρων και μεταβλητών μέσα σε ένα προσομοιωμένο επιστημονικό πλαίσιο (Abinaya & Vadivu, 2023). Η ικανότητα της ΕΠ να προσομοιώνει φαινόμενα του πραγματικού κόσμου ενθαρρύνει επίσης τη βιωματική μάθηση, όπου οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά σε επιστημονικές έρευνες και παρατηρούν τις άμεσες συνέπειες των παρεμβάσεών τους (Palada et al., 2024). Επιπλέον, η διαδραστική φύση της ΕΠ ενθαρρύνει τη συνεργατική μάθηση, επιτρέποντας στους μαθητές να συνεργάζονται σε εικονικά πειράματα και να μοιράζονται παρατηρήσεις, βελτιώνοντας έτσι τις δεξιότητες επικοινωνίας και ομαδικής εργασίας τους σε ένα επιστημονικό πλαίσιο (Tene et al., 2024).

Αυτή η συνεργατική πτυχή ενισχύεται περαιτέρω από τη δυνατότητα της ΕΠ να γεφυρώσει γεωγραφικές αποστάσεις, επιτρέποντας σε μαθητές από διαφορετικές τοποθεσίες να συμμετέχουν σε κοινές επιστημονικές εξερευνήσεις και σενάρια

επίλυσης προβλημάτων, αντικατοπτρίζοντας την παγκόσμια φύση της σύγχρονης επιστημονικής έρευνας. Η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση των θετικών επιστημών έχει βελτιώσει αποδεδειγμένα τις δεξιότητες των μαθητών του 21ου αιώνα, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργικότητας, της κριτικής σκέψης, της επίλυσης προβλημάτων, της συνεργασίας και της επικοινωνίας (Dilmen & Atalay, 2021). Αυτές οι εξελίξεις αναδεικνύουν το μετασχηματιστικό δυναμικό της ΕΠ στην καλλιέργεια ενός επιστημονικά εγγράμματος πληθυσμού, εξοπλισμένου για την αντιμετώπιση σύνθετων παγκόσμιων προκλήσεων (Syskowski et al., 2024). Η ολιστική ανάπτυξη δεξιοτήτων είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση όχι μόνο του επιστημονικού εγγραμματισμού, αλλά και μιας βαθύτερης εμπλοκής με την επιστημονική μέθοδο και τις εφαρμογές της σε πραγματικά περιβάλλοντα, παρέχοντας στους μαθητές μια εμπλουτισμένη και πολύπλευρη μαθησιακή εμπειρία που υπερβαίνει τα παραδοσιακά εκπαιδευτικά όρια (Korre & Sherlock, 2023). Η ενισχυμένη συμμετοχή, που καθοδηγείται από την ενεργή και βιωματική μάθηση η οποία διευκολύνεται από την ΕΠ, έχει δείξει σταθερά βελτιωμένη απόδοση των μαθητών σε όλους τους κλάδους STEM (Lindner et al., 2021).

Επιπλέον, η ΕΠ έχει αποδειχθεί ως η πιο αποτελεσματική διδακτική μέθοδος για την ολιστική ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού, ξεπερνώντας άλλες μεθόδους στην ενίσχυση των αντιλήψεων των μαθητών για την επιστήμη. Πράγματι, η διδακτική τεχνολογία, και συγκεκριμένα η ΕΠ, έχει αναδειχθεί ως ένα πολύτιμο και αποτελεσματικό εκπαιδευτικό εργαλείο που μπορεί να βελτιώσει τη διδασκαλία και τη μάθηση των φυσικών επιστημών σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης (Λαμπρόπουλος, 2024). Ενδεικτικά, η ΕΠ έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίζει ριζικά την κατανόηση των μαθητών, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου άλλες μέθοδοι διδασκαλίας ενδέχεται να είναι λιγότερο αποτελεσματικές.

3.1.5 Βασικά ευρήματα και επιδράσεις

Η ΕΠ αναδεικνύεται τα τελευταία χρόνια ως ένα ισχυρό παιδαγωγικό εργαλείο που μπορεί να μετασχηματίσει τη διδασκαλία και τη μάθηση στις φυσικές επιστήμες. Πλήθος ερευνών καταδεικνύει ότι η ΕΠ υπερβαίνει σε αποτελεσματικότητα τόσο την παραδοσιακή διδασκαλία όσο και άλλες μορφές ψηφιακής μάθησης, ενισχύοντας την ολιστική ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού. Συγκεκριμένα, επηρεάζει θετικά όλες τις βασικές διαστάσεις του — τις γνώσεις περιεχομένου, τις διαδικασίες

της επιστήμης και τη φύση της επιστήμης — συνεισφέροντας έτσι σε μια πιο σφαιρική και ουσιαστική μαθησιακή εμπειρία.

Σε γνωστικό επίπεδο, η ΕΠ προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα μέσω της οπτικοποίησης και της διαδραστικότητας. Η τρισδιάστατη αναπαράσταση αφηρημένων εννοιών καθιστά πιο κατανοητά δύσκολα γνωστικά αντικείμενα των φυσικών επιστημών, ενώ η δυνατότητα ενσωμάτωσης 2D και 3D εικονικών αντικειμένων δημιουργεί ένα δυναμικό και ελκυστικό μαθησιακό περιβάλλον (Syskowski et al., 2024). Επιπλέον, έρευνες καταδεικνύουν ότι η ΕΠ μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη εννοιολογικής κατανόησης, ιδιαίτερα σε πειραματικά και εργαστηριακά μαθήματα STEM, όπου οι μαθητές δυσκολεύονται συχνά να συνδέσουν θεωρία και πράξη (Altmeyer et al., 2020).

Η ΕΠ υποστηρίζει επίσης τη διερευνητική μάθηση, δίνοντας στους μαθητές την ευκαιρία να αλληλεπιδρούν με ψηφιακά στοιχεία, να παρατηρούν, να αναστοχάζονται και να κατασκευάζουν νέα γνώση (Ibáñez & Kloos, 2018). Αυτή η προσέγγιση ευνοεί την ανάπτυξη ανώτερων γνωστικών δεξιοτήτων, όπως η κριτική σκέψη, η πολύπλευρη ανάλυση και η δημιουργική επίλυση προβλημάτων (Chiang et al., 2014). Παράλληλα, η εμπλοκή των μαθητών σε τέτοιες δραστηριότητες έχει φανεί ότι ενισχύει την αυτο-αποτελεσματικότητα και οδηγεί σε βαθύτερες και πιο διαρκείς αντιλήψεις μάθησης (Cai et al., 2020).

Πέρα από το γνωστικό πεδίο, η ΕΠ έχει σημαντικές επιδράσεις και σε συναισθηματικούς και συμπεριφορικούς παράγοντες. Έρευνες δείχνουν ότι η χρήση της αυξάνει το κίνητρο και τη δέσμευση των μαθητών, παρέχοντας μια πιο καθηλωτική και βιωματική εμπειρία μάθησης (Zuo et al., 2025). Οι μαθητές τείνουν να εκδηλώνουν πιο θετικές στάσεις, αυξημένο ενδιαφέρον και απόλαυση κατά τη διάρκεια μαθημάτων στα οποία αξιοποιούνται εφαρμογές ΕΠ (Yue et al., 2021). Εξίσου σημαντικό είναι ότι η ΕΠ ενισχύει δεξιότητες του 21ου αιώνα, όπως η συνεργασία, η επικοινωνία και η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων, ενώ παράλληλα βελτιώνει την αυτοπεποίθηση και την κοινωνική αλληλεπίδραση μέσα στην τάξη (Dilmen & Atalay, 2021). Ταυτόχρονα, αναδεικνύεται η συμβολή της στη γνωστική και τη συναισθηματική διάσταση της μάθησης, στοιχείο που καθιστά την ΕΠ ιδιαίτερα ελκυστική για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες (Yildirim, 2020).

Ωστόσο, παρά τα θετικά ευρήματα, η εφαρμογή της ΕΠ δεν στερείται προκλήσεων και περιορισμών. Ζητήματα όπως η τεχνολογική υποδομή, η πρόσβαση σε κατάλληλες συσκευές, η εκπαίδευση των εκπαιδευτικών, αλλά και η ανάγκη παιδαγωγικού σχεδιασμού που να ενσωματώνει ουσιαστικά την τεχνολογία, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που καθορίζουν την αποτελεσματικότητά της (Akçayır & Akçayır, 2017). Παράλληλα, ορισμένες έρευνες επισημαίνουν ότι η υπερβολική εστίαση στη διαδραστικότητα μπορεί να αποπροσανατολίσει τους μαθητές, αν δεν συνοδεύεται από σαφή διδακτικούς στόχους και καθοδήγηση.

Συνεπώς, η ΕΠ δεν αποτελεί απλώς μια βελτίωση της διδακτικής μεθοδολογίας, αλλά ένα μετασχηματιστικό εργαλείο μάθησης που οδηγεί σε ταχείες και εντυπωσιακές προόδους στην κατανόηση και τις δεξιότητες των μαθητών, υπερβαίνοντας τόσο την παραδοσιακή διδασκαλία όσο και άλλες μορφές ψηφιακής μάθησης, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη και ρεαλιστική αντίληψη για την επιστήμη. Η διαπίστωση αυτή υπογραμμίζει τον καταλυτικό ρόλο της επαυξημένης πραγματικότητας στην ολιστική ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού, ξεπερνώντας την απλή απομνημόνευση και προωθώντας μια βαθιά εννοιολογική κατανόηση. Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της δυνατότητας της επαυξημένης πραγματικότητας να ενσωματώνει εικονικά τρισδιάστατα στοιχεία στο φυσικό περιβάλλον, προσφέροντας έτσι μια καθηλωτική εμπειρία που καθιστά τις αφηρημένες έννοιες απτές και διαδραστικές (Mansour et al., 2024). Ειδικότερα, η ΕΠ ενισχύει την ανάπτυξη δεξιοτήτων όπως η κριτική σκέψη, η επίλυση προβλημάτων, και η επικοινωνία μέσω συνεργατικών δραστηριοτήτων, οι οποίες είναι θεμελιώδεις για τον επιστημονικό εγγραμματισμό (Akçayır & Akçayır, 2016).

Συνοψίζοντας, η ΕΠ συνιστά μια καινοτόμο και πολλά υποσχόμενη παιδαγωγική προσέγγιση που μπορεί να ενισχύσει ουσιαστικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών. Τα ερευνητικά δεδομένα καταδεικνύουν ότι επηρεάζει θετικά τόσο τις γνωστικές όσο και τις συναισθηματικές και κοινωνικές διαστάσεις της μάθησης. Ωστόσο, η επιτυχής ενσωμάτωσή της προϋποθέτει την αντιμετώπιση τεχνικών και παιδαγωγικών προκλήσεων, καθώς και την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών που θα διασφαλίζουν την ουσιαστική της συμβολή στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ειδικότερα, οι περισσότερες εφαρμογές ΕΠ προσφέρουν δραστηριότητες εξερεύνησης ή προσομοίωσης, χωρίς όμως να παρέχουν επαρκή υποστήριξη στους μαθητές για την

εκτέλεση των μαθησιακών τους δραστηριοτήτων (Ibáñez & Kloos, 2018). Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ανάπτυξη τεκμηριωμένων οδηγιών και πλαισίων για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση, ιδίως όσον αφορά την ενίσχυση δεξιοτήτων όπως η μεταγνωστική επίγνωση και η πειραματική υποστήριξη (Arshad et al., 2024). Ειδικότερα, η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, προσφέροντας ένα πιο διαδραστικό και καθηλωτικό μαθησιακό περιβάλλον που υπερβαίνει τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων. Αυτό καθίσταται ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς ο επιστημονικός εγγραμματισμός σε μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης συχνά περιορίζεται στην απομνημόνευση, αντί στην εννοιολογική κατανόηση και εφαρμογή, δημιουργώντας ένα κενό στην αξιολόγηση διδακτικών παρεμβάσεων. Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει την ανάγκη για προσεκτικά σχεδιασμένα διδακτικά και μαθησιακά στοιχεία πριν την εφαρμογή της ΕΠ στην εκπαίδευση, με έμφαση στην ενεργή μάθηση, την επίλυση προβλημάτων και την κριτική σκέψη (Arshad et al., 2024).

3.1.6 Προκλήσεις και περιορισμοί

Παρά τα πολυάριθμα οφέλη, η υιοθέτηση της ΕΠ στην εκπαίδευση αντιμετωπίζει προκλήσεις. Η εφαρμογή της δεν είναι πάντα χωρίς εμπόδια, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών, χρηστικών και πρακτικών προβληματισμών (Titchiev et al., 2023). Υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη έρευνα που να εστιάζει στα μαθησιακά αποτελέσματα βάσει επιστημονικών δεξιοτήτων και να παρέχει μεταγνωστική και πειραματική υποστήριξη (Ibáñez & Kloos, 2018). Επιπλέον, αρκετές μελέτες δεν έχουν εξετάσει επαρκώς τον αντίκτυπο της παιδαγωγικής και των αντίστοιχων διδακτικών μοντέλων κατά την εφαρμογή της AR στη διδασκαλία και τη μάθηση (Wen et al., 2023). Τα προβλήματα, όπως η απώλεια προσοχής και κινήτρου, μπορούν να επιδεινωθούν στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση χωρίς την κατάλληλη ενσωμάτωση (Benavides et al., 2021).

3.1.7 Συμπέρασμα

Η ΕΠ είναι ένας ισχυρός καταλύτης για την ολιστική ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού, προσφέροντας έναν μετασχηματιστικό τρόπο μάθησης που ενισχύει την κατανόηση, τις δεξιότητες και τη δέσμευση των μαθητών. Ωστόσο, για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού της, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός, περαιτέρω έρευνα

για τις βέλτιστες παιδαγωγικές πρακτικές και αντιμετώπιση των πρακτικών προκλήσεων στην εφαρμογή της.

3.2 Επίδραση των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στον επιστημονικό εγγραμματισμό

3.2.1 Εισαγωγή

Ο επιστημονικός εγγραμματισμός αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους της σύγχρονης εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών. Περιλαμβάνει όχι μόνο την κατανόηση βασικών επιστημονικών εννοιών, αλλά και την ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν διαδικασίες επιστημονικής διερεύνησης, καθώς και την κατανόηση της φύσης της επιστήμης. Σύμφωνα με τον Bybee (1997), ο επιστημονικός εγγραμματισμός ορίζεται ως η δυνατότητα του ατόμου να χρησιμοποιεί τη γνώση της επιστήμης για να κατανοεί τον κόσμο, να παίρνει αποφάσεις και να συμμετέχει ενεργά σε κοινωνικά ζητήματα.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις έχουν αναδειχθεί ως καινοτόμα ψηφιακά εργαλεία που μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στην ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού. Πρόκειται για διαδραστικά περιβάλλοντα μάθησης που επιτρέπουν στους μαθητές να διερευνήσουν φαινόμενα, να πειραματιστούν με μεταβλητές και να οπτικοποιήσουν αφηρημένες έννοιες. Οι προσομοιώσεις συχνά λειτουργούν ως εικονικά εργαστήρια, παρέχοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με επιστημονικά μοντέλα χωρίς τους περιορισμούς που συνεπάγονται οι πραγματικές συνθήκες (κόστος, χρόνος, ασφάλεια). Η παρούσα ανασκόπηση επιχειρεί να συσχετίσει συστηματικά τη χρήση των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων με την επίδρασή τους στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών, εξετάζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο, τα ερευνητικά ευρήματα και τις προοπτικές για τη διδακτική πράξη.

3.2.2 Μεθοδολογία αναζήτησης

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η παρούσα βιβλιογραφική ανάλυση, χρησιμοποιήθηκαν εμπειρικές μελέτες οι οποίες αξιολογούν την επίδραση των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στον επιστημονικό εγγραμματισμό (έννοιες, διερευνητικές δεξιότητες, ερμηνεία δεδομένων, επιστημονική επιχειρηματολογία,

στάσεις/κίνητρα). Χρησιμοποιήθηκαν βάσεις δεδομένων, όπως οι ακόλουθες: PubMed/Medline, Scopus, Web of Science, ERIC και Google Scholar. Οι λέξεις-κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά ήταν οι ακόλουθες: ("simulation" OR "virtual lab" OR "virtual laboratory" OR "computer simulation") AND ("science education" OR "chemistry" OR "physics") AND ("learning" OR "scientific literacy" OR "inquiry" OR "skills"). Τα κριτήρια ένταξης ήταν εμπειρικές μελέτες (RCT, quasi-experimental, προ-μετρήσεις/μετα-μετρήσεις με ομάδες σύγκρισης, και σημαντικές ποσοτικές/μικτές-μεθοδολογίες) οι οποίες χρησιμοποιούν εκπαιδευτικές προσομοιώσεις σε επίσημο ή άτυπο πλαίσιο μάθησης της επιστήμης, μετρούν επιστημονική γνώση/δεξιότητες ή την γνώση και συγκρίνουν με παραδοσιακή διδασκαλία ή εναλλακτικά μέσα με τις ψηφιακές προσομοιώσεις.

3.2.3 Πίνακας 2 — 20 βασικές μελέτες / μετα-αναλύσεις για την εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται βασικές ανασκοπήσεις και εφαρμόσιμες πρωτογενείς μελέτες που φωτίζουν τη σχέση προσομοιώσεων — επιστημονικού εγγραμματισμού.

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
1	Rutten, van Joolingen & van der Veen (2012)	Systematic review	52 μελέτες	Διάφορα περιβάλλοντα	Simulations ενισχύουν εννοιολογική κατανόηση & inquiry skills
2	Smetana & Bell (2012)	Review	~40 μελέτες	Επισκόπηση	Συμβολή προσομοιώσεων στη μάθηση επιστημονικών εννοιών

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
3	Zacharia & Olympiou (2011)	Empirica 1	138 μαθητές Γυμνασί ου	6 εβδομάδες	Συνδυασμός hands-on + simulation πιο αποδοτικός από μόνο hands-on
4	de Jong & van Joolingen (1998)	Review	100+ μελέτες	—	Σχεδίαση και αποτελεσματικότ ητα προσομοιώσεων στη μάθηση
5	Chiu & Linn (2014)	Empirica 1	400 μαθητές	3–4 εβδομάδες	Simulations σε χημεία βελτίωσαν scientific explanations
6	Lee et al. (2010)	Meta- analysis	59 studies	—	Συνολικά μέσο effect size +0.35 υπέρ προσομοιώσεων
7	Smetana et al. (2015)	Empirica 1	5 τάξεις Δημοτικ ού	4 εβδομάδες	PhET simulations βελτίωσαν conceptual change
8	Rutten et al. (2015)	Review	40 μελέτες	—	Simulations υποστηρίζουν inquiry και αυξάνουν engagement
9	Olympiou & Zacharia (2012)	Empirica 1	9η τάξη	2 εβδομάδες	Simulations ενισχύουν κατανόηση

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
					φαινομένων μη- παρατηρήσιμων
1 0	Chang et al. (2010)	Empirica l	120 μαθητές	3 εβδομάδες	Simulation-based labs > traditional labs στην επίδοση
1 1	Tüysüz (2010)	Empirica l	67 μαθητές	4 εβδομάδες	Chemistry simulations αύξησαν επίδοση & θετικές στάσεις
1 2	Wieman & Perkins (2005)	Conceptu al paper	—	—	PhET simulations διευκολύνουν διαισθητική κατανόηση
1 3	Rutten et al. (2016)	Empirica l	150 μαθητές	2 εβδομάδες	Scaffolded simulations βελτιώνουν inquiry δεξιότητες
1 4	Zacharia et al. (2015)	Review	60+ μελέτες	—	Mixed methods δείχνουν ότι οι προσομοιώσεις ενισχύουν NOS κατανόηση
1 5	Bell & Smetana (2013)	Review	30 μελέτες	—	Simulations πιο αποτελεσματικές όταν συνδέονται με αναστοχασμό

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
1 6	Finkelstein et al. (2005)	Empirical	500+ φοιτητές	1 εξάμηνο	Simulations ισάζιες ή καλύτερες από φυσικά εργαστήρια
1 7	Zacharia & Constantinou (2008)	Empirical	92 μαθητές	6 εβδομάδες	Συνδυασμός real+virtual labs > μόνο ένα από τα δύο
1 8	Scalise et al. (2011)	Review	—	—	Simulations συμβάλλουν σε formative assessment
1 9	Rutten (2019)	Review	—	—	Διάκριση “simulation as content vs simulation as tool for inquiry”
2 0	Olympiou & Zacharia (2017)	Empirical	8η τάξη	3 εβδομάδες	Simulation use βελτίωσε επιστημονική επιχειρηματολογία

Σύντομη ανάλυση: Οι προσομοιώσεις τείνουν να έχουν σταθερά θετικά αποτελέσματα στην εννοιολογική μάθηση και στην ικανότητα μοντελοποίησης/ερμηνείας δεδομένων, ιδιαίτερα όταν εντάσσονται σε καθοδηγούμενα, inquiry-based scripts ή όταν χρησιμοποιούνται ως συμπλήρωμα σε hands-on δραστηριότητες. Οι φυσικές δεξιότητες (π.χ. χειρισμός εξοπλισμού,

λεπτές δεξιότητες) παραμένουν καλύτερα διδασκόμενες στο πραγματικό εργαστήριο.

3.2.4 Επίδραση των εκπαιδευτικών ψηφιακών προσομοιώσεων στον επιστημονικό εγγραμματισμό: Συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Η παρούσα ανασκόπηση εξετάζει συστηματικά την υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφορικά με την εφαρμογή και την αποτελεσματικότητα των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στην ενίσχυση της επιστημονικής παιδείας σε μαθητές δημοτικού σχολείου, έναν τομέα αυξανόμενου παιδαγωγικού ενδιαφέροντος (Rayan et al., 2023). Η παρούσα ολοκληρωμένη ανάλυση διερευνά διάφορες πτυχές της ενσωμάτωσης προσομοιώσεων, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού τους, των στρατηγικών υλοποίησης και της επακόλουθης επίδρασης στην εννοιολογική κατανόηση, τις δεξιότητες έρευνας και τη συνολική επιστημονική διάθεση των μαθητών (Diab et al., 2024). Συγκεκριμένα, η ανασκόπηση εμβαθύνει στο πώς οι διαδραστικές πλατφόρμες, όπως οι προσομοιώσεις PhET, διευκολύνουν την ενεργητική μάθηση και την εξερεύνηση σύνθετων επιστημονικών φαινομένων, ενισχύοντας έτσι την κατανόηση των μαθητών σε βασικές επιστημονικές έννοιες όπως οι καταστάσεις της ύλης και η διαλυτότητα (Diab et al., 2024). Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση εξετάζει κριτικά την υφιστάμενη βιβλιογραφία αναφορικά με την επίδραση των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές ερευνητικές προσεγγίσεις (D'Angelo et al., 2014). Ειδικότερα, διερευνάται πώς οι προσομοιώσεις, ως τεχνολογικά υποστηριζόμενα εργαλεία, μπορούν να μετασχηματίσουν τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, καθιστώντας τη μαθησιακή διαδικασία πιο διαδραστική, ελκυστική και ουσιαστική για τους μαθητές, ευθυγραμμίζοντας την εκπαίδευση με τις απαιτήσεις της ψηφιακής εποχής (Diab et al., 2024). Η προσέγγιση αυτή επιδιώκει να αναδείξει τους μηχανισμούς μέσω των οποίων οι ψηφιακές προσομοιώσεις συμβάλλουν στην ανάπτυξη αφηρημένων εννοιών, στην ενίσχυση δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων και κριτικής σκέψης, καθώς και στην αύξηση του κινήτρου και της εμπλοκής των μαθητών στην επιστημονική μάθηση (Almasri, 2022). Στο πλαίσιο αυτό, η ανασκόπηση επικεντρώνεται στην ανάλυση της αποτελεσματικότητας των ψηφιακών εργαλείων, όπως οι έξυπνες διδακτικές προσομοιώσεις, οι οποίες έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην ενίσχυση

της μάθησης στις θετικές επιστήμες (Hillmayr et al., 2020). Η ανάλυση επεκτείνεται επίσης στην εξέταση της ψηφιακής παιδείας στο πλαίσιο της επαυξημένης, εικονικής και μικτής πραγματικότητας στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών, με στόχο την ανάπτυξη ενός πλαισίου που γεφυρώνει αυτά τα πεδία (Chang et al., 2023). Η έρευνα αναδεικνύει, επιπλέον, την αυξανόμενη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών ως μέσο ενίσχυσης της μαθητικής κινητοποίησης και της επιστημονικής σκέψης, ενώ η εφαρμογή της παιχνιδοποίησης στο πλαίσιο της επιστημονικής εκπαίδευσης έχει αναδειχθεί ως ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο για την αύξηση της συμμετοχής και την αποτελεσματικότερη επίτευξη μαθησιακών αποτελεσμάτων (Kalogiannakis et al., 2021). Συγκεκριμένα, οι ψηφιακές προσομοιώσεις προσφέρουν οπτικές αναπαραστάσεις πολύπλοκων επιστημονικών φαινομένων, επιτρέποντας στους μαθητές να διεξάγουν διερευνητικές και δυναμικές μαθησιακές εμπειρίες (Diab et al., 2024). Μέσω αυτών των εμπειριών, οι μαθητές μπορούν να χειριστούν μεταβλητές, να παρατηρήσουν άμεσα τις επιπτώσεις των αλλαγών, και να αναπτύξουν μια βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών αρχών που διέπουν αυτά τα φαινόμενα, δημιουργώντας ένα δυναμικό και διαδραστικό μαθησιακό περιβάλλον (Syskowski et al., 2024). Αυτή η προσέγγιση είναι κρίσιμη για την προετοιμασία των μελλοντικών εκπαιδευτικών να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες των ψηφιακών εργαλείων στη διδακτική τους πρακτική, ενισχύοντας την καινοτομία και την αποτελεσματικότητα της μάθησης στις επιστήμες (Tene et al., 2024). Η τεχνολογία διευκολύνει τη δημιουργία μαθησιακών περιβαλλόντων που προωθούν την ενεργητική συμμετοχή των μαθητών, προσφέροντας πλούσιες οπτικές και διαδραστικές εμπειρίες απαραίτητες για την κατανόηση σύνθετων επιστημονικών διαδικασιών. Συνεπώς, οι εκπαιδευτικοί καλούνται να αναπτύξουν την ικανότητα χρήσης της ψηφιακής τεχνολογίας για την υποστήριξη της μάθησης και της επικοινωνίας της επιστημονικής γνώσης (Barsom et al., 2016), ενώ η αξιοποίηση των ψηφιακών εργαλείων μπορεί να διευρύνει τους περιορισμούς του παραδοσιακού αναλυτικού προγράμματος και των διαθέσιμων πόρων, ενισχύοντας την ελκυστικότητα και την αποτελεσματικότητα της επιστημονικής εκπαίδευσης (Alibraheim et al., 2023). Επιπλέον, η τεχνολογία συμβάλλει στην αξιολόγηση πιο δυναμικών διαδικασιών και δεξιοτήτων που είναι αναπόσπαστες στην επιστημονική έρευνα, υποδηλώνοντας τον ρόλο της στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού. Μέσω αυτών των ψηφιακών προσομοιώσεων, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να εξερευνήσουν, να πειραματιστούν και να αναπτύξουν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων σε

περιβάλλοντα που προσομοιάζουν πραγματικές επιστημονικές πρακτικές. Ωστόσο, παρά τις δυνατότητες αυτές, η πλήρης αξιοποίηση των ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων για την ανάπτυξη προηγμένων γνωστικών δεξιοτήτων, όπως η ενεργός δημιουργία και η συνεργατική επίλυση προβλημάτων, παραμένει περιορισμένη (Chang et al., 2023). Παρά ταύτα, η αποτελεσματικότητα των ψηφιακών προσομοιώσεων στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού δεν είναι πάντα ομοιόμορφη, καθώς ο τρόπος παιδαγωγικής ενσωμάτωσης και η καθοδήγηση από τον εκπαιδευτικό διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη στατιστικά σημαντικών βελτιώσεων. Η προσέγγιση αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τη δημιουργία ισχυρών μοντέλων για την κατανόηση επιστημονικών και μαθηματικών εννοιών, χρησιμοποιώντας οπτικοποιήσεις και κινούμενα σχέδια για την υποστήριξη της ανάπτυξης νοητικών μοντέλων στους μαθητές (Tene et al., 2024). Επιπλέον, η ενσωμάτωση θεωρητικών πλαισίων κρίνεται απαραίτητη για την εδραίωση της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών με βάση την επαυξημένη/εικονική πραγματικότητα, καλύπτοντας την ανάγκη για στιβαρές θεωρητικές παραδειγματικές προσεγγίσεις σε αυτό το ειδικό πλαίσιο (Tene et al., 2024). Για να αντιμετωπιστεί αυτό το κενό, απαιτείται η ανάπτυξη ειδικά σχεδιασμένων και επικυρωμένων εργαλείων μέτρησης που να ανταποκρίνονται στις ιδιαιτερότητες της ηλικιακής ομάδας της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς και η διερεύνηση της επίδρασης των διδακτικών παρεμβάσεων που ενσωματώνουν την επαυξημένη πραγματικότητα στον επιστημονικό εγγραμματισμό. Η σημασία αυτών των εργαλείων έγκειται στην ικανότητά τους να αποτυπώνουν όχι μόνο την απόκτηση γνώσεων, αλλά και την ανάπτυξη δεξιοτήτων υψηλότερης τάξης, όπως η κριτική ανάλυση και η σύνθεση πληροφοριών, οι οποίες είναι θεμελιώδεις για τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να διερευνήσουν τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της εικονικής πραγματικότητας στις μαθησιακές τροχιές των μαθητών και στα ποσοστά διατήρησης της γνώσης, καθώς και την αποτελεσματικότητά της σε ποικίλες γνωστικές περιοχές και ηλικιακές ομάδες (Abinaya & Vadivu, 2023).

Αυτές οι προσομοιώσεις παρέχουν οπτικές αναπαραστάσεις που επιτρέπουν στους μαθητές να χειρίζονται μεταβλητές και να παρατηρούν άμεσα αποτελέσματα, προωθώντας μια πιο δυναμική και συναρπαστική μαθησιακή εμπειρία από τις παραδοσιακές διδακτικές μεθόδους (Diab et al., 2024). Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνολογιών εκτεταμένης πραγματικότητας, που περιλαμβάνουν επαυξημένη, εικονική

και μικτή πραγματικότητα, σε αυτές τις ψηφιακές προσομοιώσεις προσφέρει νέες δυνατότητες για καθηλωτική, δημοφιλή επιστημονική εκπαίδευση, αν και ο συγκεκριμένος αντίκτυπός τους στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών δημοτικού σχολείου απαιτεί περαιτέρω, αφοσιωμένη έρευνα λόγω της περιορισμένης τρέχουσας έρευνας (Chang et al., 2023). Ωστόσο, ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι οι διαδραστικές προσομοιώσεις με ενσωματωμένη υποστήριξη διερεύνησης μπορούν να επηρεάσουν θετικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό και την σχολική επίδοση στις φυσικές επιστήμες, ειδικά όταν λαμβάνεται υπόψη η προηγούμενη ακαδημαϊκή επίδοση και η ποιότητα των διαδικασιών διερεύνησης (Wen et al., 2020). Επιπλέον, η χρήση της εικονικής πραγματικότητας σε παιχνίδια επιστημονικής εκπαίδευσης έχει αναγνωριστεί ως μια σημαντική αναπτυξιακή κατεύθυνση για την παιχνιδοποιημένη μάθηση, με μετα-αναλύσεις να διερευνούν τον αντίκτυπό της στην αποτελεσματικότητα της μάθησης μέσω της ενσωματωμένης νόησης (Lin et al., 2024). Η ενσωμάτωση προηγμένων ψηφιακών εργαλείων όχι μόνο εμπλουτίζει το μαθησιακό περιβάλλον, αλλά αντιμετωπίζει επίσης την κρίσιμη ανάγκη για ανάπτυξη του ψηφιακού εγγραμματισμού παράλληλα με την επιστημονική κατανόηση, η οποία είναι πρωταρχικής σημασίας στα σύγχρονα εκπαιδευτικά πλαίσια (Chang et al., 2023). Παρά τα σαφή πλεονεκτήματα, η αποτελεσματική ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών απαιτεί προσεκτική εξέταση των παιδαγωγικών προσεγγίσεων για την εξασφάλιση αποτελεσμάτων βαθιάς μάθησης, ξεπερνώντας την απλή πρόσβαση σε πληροφορίες για να διευκολύνει την ενεργό δημιουργία και την επίλυση προβλημάτων (Chang et al., 2023). Οι εκπαιδευτικοί έχουν αναφέρει ότι οι διαδραστικές προσομοιώσεις επιτρέπουν συζητήσεις υψηλότερου επιπέδου σχετικά με εμπειρικά στοιχεία και παρέχουν πλουσιότερες μαθησιακές εμπειρίες (Geelan & Fan, 2014). Τέτοια ψηφιακά εργαλεία μετατρέπουν αφηρημένες έννοιες σε απτές εμπειρίες, επιτρέποντας στους μαθητές να οπτικοποιούν και να αλληλεπιδρούν με επιστημονικές αρχές που διαφορετικά θα παρέμεναν θεωρητικές (Diab et al., 2024). Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση αναφορικά με τις φυσικές επιστήμες, όπου εργαλεία όπως οι προσομοιώσεις PhET προσφέρουν προσβάσιμα, διαδραστικά και οπτικά μέσα για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς ώστε να κατανοούν καλύτερα σύνθετες επιστημονικές έννοιες (Diab et al., 2024). Η ενσωμάτωση τεχνολογιών εμπύθισης όχι μόνο ενισχύει την εμπλοκή και την απόδοση, αλλά βελτιώνει επίσης την κατανόηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών, ενισχύοντας τελικά το αυξημένο κίνητρο των μαθητών και πλουσιότερες εμπειρίες συνεργατικής

μάθησης στην εκπαίδευση STEM (Tene et al., 2024). Αυτή η εμπνευστική ποιότητα επιτρέπει μια βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση και βελτιωμένη αλληλεπίδραση με εικονικά αντικείμενα, η οποία είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων και την ενίσχυση της συνεργατικής μάθησης σε επιστημονικά πλαίσια (Tene et al., 2024).

Επιπλέον, η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας αυτών των προσομοιώσεων σε διαφορετικά εκπαιδευτικά πλαίσια, όπως και ο αντίκτυπός τους στην προώθηση των επιστημονικών επαγγελμάτων ανεξαρτήτως φύλου, είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη βέλτιστων παιδαγωγικών στρατηγικών και θεσμικών πολιτικών (Rodríguez-Saavedra et al., 2025). Η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένων της επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας, έχει καταστήσει επιτακτική την ενσωμάτωση αυτών των ψηφιακών εργαλείων στην εκπαίδευση, με διεθνείς εκθέσεις να τονίζουν τη σημασία τους για τη βελτίωση της διδασκαλίας και της μάθησης. Στο πλαίσιο αυτό, η συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που εστιάζει στις εκπαιδευτικές ψηφιακές προσομοιώσεις και τον επιστημονικό εγγραμματισμό καθίσταται αναγκαία, προκειμένου να χαρτογραφηθούν οι υφιστάμενες προσεγγίσεις και να αναδειχθούν οι βέλτιστες πρακτικές (Noguera et al., 2023). Επιπροσθέτως, αυτή η ανασκόπηση πρέπει να διερευνήσει πώς οι παιδαγωγικές στρατηγικές ενσωματώνονται στις ψηφιακές προσομοιώσεις για να ενισχύσουν τη δέσμευση των μαθητών και να προσαρμοστούν στις ατομικές προτιμήσεις μάθησης, παρέχοντας πρακτική καθοδήγηση για τη μεγιστοποίηση του εκπαιδευτικού τους αντίκτυπου (Tene et al., 2024). Μια τέτοια ανασκόπηση θα μπορούσε να διαμορφώσει τις μελλοντικές εκπαιδευτικές πρακτικές και πολιτικές, οδηγώντας τους εκπαιδευτικούς στην καλύτερη οργάνωση προγραμμάτων κατάρτισης και τους ερευνητές στη βελτιστοποίηση της πολυαισθητηριακής εμπύθισης και διαδραστικότητας των εικονικών συστημάτων. Αυτή η τάση υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη για συστηματικές ανασκοπήσεις που να αξιολογούν την παιδαγωγική αποτελεσματικότητα των ψηφιακών προσομοιώσεων στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού, ιδιαίτερα σε αναδυόμενες τεχνολογίες όπως η επαυξημένη και η εικονική πραγματικότητα (Wang & Li, 2024). Η ανάλυση αυτών των τεχνολογιών πρέπει να καλύπτει τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας και της εικονικής πραγματικότητας στα πλαίσια της εκπαίδευσης

STEM, αξιολογώντας τόσο τις δυνατότητες όσο και τις προκλήσεις για την ευρεία υιοθέτησή τους (Tene et al., 2024).

3.2.5 Βασικά ευρήματα και επιδράσεις

Τα αποτελέσματα των μελετών καταδεικνύουν πολλαπλές θετικές επιδράσεις. Αρχικά ενισχύονται οι γνωστικές δεξιότητες μέσα από τις διαδραστικές προσομοιώσεις, οι οποίες υποστηρίζουν την ανάπτυξη κριτικής σκέψης και δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων, καθώς οι μαθητές εμπλέκονται σε διαδικασίες υπόθεσης, πειραματισμού και παρατήρησης (Zhao et al., 2025). Επιπλέον, η VR έχει συσχετιστεί με βελτίωση στη χωρική συλλογιστική και τη λήψη αποφάσεων (Faresta et al., 2024), ενώ εργαλεία όπως οι προσομοιώσεις PhET έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στην ενίσχυση της εννοιολογικής κατανόησης (La et al., 2020). Ακόμη, υποστηρίζεται η διερευνητική μάθηση, διότι οι προσομοιώσεις με ενσωματωμένη παιδαγωγική καθοδήγηση ενισχύουν την ικανότητα οικοδόμησης μοντέλων και αξιολόγησης αποδείξεων, συμβάλλοντας στην καλλιέργεια επιστημονικού εγγραμματισμού (Develaki, 2017). Συνάμα, παρατηρείται πως η VR, ιδίως μέσω καθηλωτικών εμπειριών με Head-Mounted Displays, έχει θετική επίδραση στην εμπλοκή, την κατανόηση αφηρημένων θεμάτων και τη διατήρηση γνώσεων (Chen et al., 2023). Τέλος, εντοπίζεται ανάπτυξη ψηφιακού εγγραμματισμού, διότι η συστηματική χρήση online προσομοιώσεων μπορεί να ενισχύσει τον ψηφιακό εγγραμματισμό, ενώ εισάγεται και η έννοια του “simulation literacy”, η οποία αφορά στην κατανόηση της λογικής λειτουργίας των προσομοιώσεων και της αξιοποίησής τους για την επίλυση προβλημάτων (Greubel et al., 2020).

3.2.6 Περιορισμοί και προκλήσεις

Παρά τα πλεονεκτήματα, η βιβλιογραφία αναγνωρίζει ορισμένες προκλήσεις, όπως η ανάγκη διδακτικής καθοδήγησης. Χωρίς κατάλληλη υποστήριξη, οι μαθητές μπορεί να περιοριστούν σε επιφανειακή αλληλεπίδραση (de Jong, 2006). Ακόμη, παρατηρείται ψηφιακό χάσμα, όπου η έλλειψη πρόσβασης σε υποδομές μπορεί να περιορίσει την εφαρμογή τους (OECD, 2019). Τέλος, αναφορικά με την αξιολόγηση του επιστημονικού εγγραμματισμού απαιτούνται έγκυρα εργαλεία που να μετρούν

όχι μόνο τις γνώσεις αλλά και τις διαδικασίες και την φύση της επιστήμης (Gormally et al., 2012).

Συζήτηση

Η σύγκλιση των ερευνητικών ευρημάτων καταδεικνύει ότι οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις έχουν θετική επίδραση στον επιστημονικό εγγραμματισμό, ιδιαίτερα όταν ενσωματώνονται σε διδακτικά σενάρια μάθησης και συνοδεύονται από αναστοχαστικές δραστηριότητες. Η επίδραση είναι μεγαλύτερη σε γνωστικά απαιτητικά αντικείμενα όπου η οπτικοποίηση και η μοντελοποίηση είναι κρίσιμες (π.χ. μοριακή βιολογία, φυσική μικρόκοσμου).

Επιπλέον, οι προσομοιώσεις μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά με τα πραγματικά εργαστήρια, συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα και των δύο προσεγγίσεων. Η ερευνητική κοινότητα, ωστόσο, επισημαίνει την ανάγκη περαιτέρω μελετών με μακροπρόθεσμες παρεμβάσεις και μετρήσεις που θα καλύπτουν όλες τις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού.

3.2.7 Συμπέρασμα

Συνολικά, οι ψηφιακές εκπαιδευτικές προσομοιώσεις και οι τεχνολογίες AR/VR προσφέρουν πλούσιες μαθησιακές εμπειρίες που μπορούν να ενισχύσουν την εννοιολογική κατανόηση, τις γνωστικές και πρακτικές δεξιότητες, καθώς και το κίνητρο των μαθητών. Η επιτυχία τους, ωστόσο, εξαρτάται από τον προσεκτικό παιδαγωγικό σχεδιασμό, την παροχή κατάλληλης υποστήριξης στους εκπαιδευτικούς και την αντιμετώπιση των τεχνολογικών και οργανωτικών περιορισμών.

Η ανασκόπηση δείχνει ότι οι προσομοιώσεις υποστηρίζουν αποτελεσματικά την ανάπτυξη γνώσεων, δεξιοτήτων διερεύνησης και κατανόησης της φύσης της επιστήμης. Ακόμη, η αποτελεσματικότητά τους μεγιστοποιείται όταν εντάσσονται σε καλά σχεδιασμένα σενάρια με καθοδήγηση. Απαιτείται ανάπτυξη και χρήση εργαλείων αξιολόγησης που αποτυπώνουν συνολικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών και η επαρκής τεχνολογική υποδομή είναι προϋποθέσεις για επιτυχημένη ενσωμάτωση.

Συνολικά, οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις αναδεικνύονται σε ισχυρό παιδαγωγικό μέσο που μπορεί να καλλιεργήσει ουσιαστικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό, συνδέοντας τη θεωρία με την πράξη και προετοιμάζοντας τους μαθητές να συμμετέχουν ενεργά σε μια κοινωνία όπου η επιστήμη και η τεχνολογία κατέχουν κεντρικό ρόλο.

4 Συστηματική ανασκόπηση βιβλιογραφίας: Επίδραση της συμβατικής διδασκαλίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό

4.1.1 Εισαγωγή

Η συμβατική ή παραδοσιακή διδασκαλία στις φυσικές επιστήμες, συχνά χαρακτηριζόμενη από διαλέξεις, απομνημόνευση και βιβλιοκεντρικές προσεγγίσεις, αποτελεί τη μακροβιότερη και πιο διαδεδομένη μορφή εκπαίδευσης (Wieman, 2014). Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά της στην ανάπτυξη του σύγχρονου, ολιστικού επιστημονικού εγγραμματισμού, που περιλαμβάνει όχι μόνο γνώσεις περιεχομένου αλλά και επιστημονικές διαδικασίες και την κατανόηση της φύσης της επιστήμης, έχει αμφισβητηθεί εκτενώς από την εκπαιδευτική έρευνα.

Η παρούσα ανασκόπηση εξετάζει εμπειρικές μελέτες, μετα-αναλύσεις και εκθέσεις που συγκρίνουν ή συνθέτουν ευρήματα αναφορικά με τη συμβατική/δασκαλοκεντρική διδασκαλία σε σχέση με ενεργητικές / διερευνητικές μεθόδους ως προς την επίδρασή τους στον επιστημονικό εγγραμματισμό (γνώση περιεχομένου, διαδικασίες της επιστήμης, φύση της επιστήμης). Τα κύρια ευρήματα δείχνουν ότι: α) η συμβατική διδασκαλία είναι αποτελεσματική για την εισαγωγή και την οικοδόμηση βασικών εννοιών, β) η ενεργητική/καθοδηγούμενη διερεύνηση συνδέεται με καλύτερα αποτελέσματα στην κατανόηση εννοιών και στις δεξιότητες υψηλότερης τάξης όταν εφαρμόζεται σωστά, και γ) η καθοδήγηση είναι κρίσιμος μεσολαβητής: η ανεπαρκώς καθοδηγούμενη διερεύνηση συχνά αποτυγχάνει.

Μεθοδολογία αναζήτησης

Για την παρούσα ανασκόπηση έγινε σύνθετη αναζήτηση σε βάσεις και πόρους που περιλαμβάνουν: Web of Science, Scopus, ERIC, PubMed (για εκπαιδευτικές μετα-αναλύσεις της STEM διδασκαλίας), καθώς και εκθέσεις/αναλύσεις του OECD/PISA

(σχετικά με δείκτες teacher-directed instruction και enquiry-based teaching). Αναζητήθηκαν επίσης κλασικά reviews/meta-analyses (π.χ. Freeman et al., Kirschner et al.). Οι όροι αναζήτησης οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθοι: “teacher-directed instruction”, “direct instruction vs inquiry science education”, “active learning meta-analysis STEM”, “minimal guidance Kirschner”, “PISA teacher-directed science”. (Χρονικό εύρος: κύριες μελέτες και reviews από 2000–2025).

Κριτήρια ένταξης: Αναζητήθηκαν πρωτογενείς πειραματικές/συγκριτικές μελέτες, μετα-αναλύσεις, συστηματικές ανασκοπήσεις και επίσημες εκθέσεις οι οποίες μετρούν μαθησιακά αποτελέσματα στις φυσικές επιστήμες σε σχολική ή προ-πανεπιστημιακή ηλικία. Εξαιρέθηκαν μελέτες μόνο σε πανεπιστημιακά μαθητικά περιβάλλοντα εάν δεν σχετίζονταν με διδακτικές στρατηγικές γενικότερης εφαρμογής.

4.1.2 Πίνακας 3 — 20 βασικές μελέτες / μετα-αναλύσεις για τη συμβατική διδασκαλία

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
1	Hattie (2009)	Meta- analysis	800 meta- analyses	—	Direct instruction έχει υψηλό effect size (+0.59)
2	Kirschner, Sweller & Clark (2006)	Conceptual	—	—	Minimal guidance λιγότερο αποτελεσματική από explicit instruction
3	Rosenshine (2012)	Review	—	—	Principles of instruction: clarity,

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
					scaffolding, practice
4	Klahr & Nigam (2004)	Empirical	112 μαθητές Δημοτικού	1 εβδομάδα	Direct instruction > discovery learning σε science
5	Mayer (2004)	Review	—	—	Traditional methods υποστηρίζουν καλύτερη δομή γνώσης
6	Marzano (2000)	Meta- analysis	30+ studies	—	Effective teaching strategies → higher achievement
7	Brophy & Good (1986)	Review	—	—	Παραδοσιακή διδασκαλία αποτελεσματική με ενεργή καθοδήγηση
8	Good & Brophy (2008)	Book	—	—	Emphasis on structure, clarity & teacher role
9	Clark (2009)	Review	—	—	Direct instruction consistently more effective

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
10	Slavin (1994)	Meta- analysis	29 studies	—	Teacher-led instruction > unguided learning
11	Shulman (1986)	Conceptual	—	—	Pedagogical Content Knowledge κρίσιμο στη συμβατική διδασκαλία
12	Ausubel (1968)	Theoretical	—	—	Meaningful learning μέσω οργανωτών & δασκάλου
13	Gage & Berliner (1998)	Review	—	—	Clear presentation + practice βελτιώνουν μάθηση
14	Vygotsky (1978)	Theoretical	—	—	Zone of Proximal Development → scaffolding από δάσκαλο
15	Bruner (1960)	Theoretical	—	—	Spiral curriculum → direct revisiting concepts

#	Αναφορά (σύντομη)	Τύπος	Δείγμα / # μελετών	Μέθοδος / Διάρκεια	Ευρήματα
16	Doyle (1983)	Empirical	—	—	Structured classroom management increases learning
17	Muijs & Reynolds (2005)	Review	—	—	Direct instruction → higher engagement
18	Pressley et al. (1992)	Empirical	—	—	Strategy instruction effective with teacher guidance
19	Piaget (1970)	Theoretical	—	—	Traditional scaffolding still necessary for concept formation
20	Borich (2013)	Book	—	—	Teacher- centered methods structured learning outcomes

4.1.3 Επιπτώσεις της συμβατικής διδασκαλίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών: Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Ενώ η παραδοσιακή διδασκαλία με επίκεντρο τον εκπαιδευτικό επικεντρώνεται κυρίως στη μετάδοση γεγονότων, οι μελετητές υποστηρίζουν ότι δεν καλλιεργεί επαρκώς τις τρεις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού και ως εκ τούτου υποστηρίζει μια στροφή προς ενεργητικές μεθοδολογίες όπως η ανακάλυψη και η μάθηση βασισμένη σε έργα, για να εξοπλίσει καλύτερα τους μαθητές για τη λήψη αποφάσεων στον πραγματικό κόσμο (Cerna et al., 2021). Ωστόσο, εμπειρικά στοιχεία δείχνουν ότι οι συμβατικές προσεγγίσεις που βασίζονται στη διάλεξη αποφέρουν μέτριες βελτιώσεις στην εννοιολογική κατανόηση των μαθητών σε σύγκριση με τις μορφές που προσανατολίζονται στην έρευνα, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για παιδαγωγική μεταρρύθμιση (Morris, 2025). Πράγματι, συγκριτικές μελέτες έχουν τεκμηριώσει ότι τα προγράμματα σπουδών που βασίζονται στη διερεύνηση παράγουν σημαντικά μεγαλύτερα κέρδη στον επιστημονικό εγγραμματισμό από τις συμβατικές μορφές διαλέξεων (Gormally et al., 2009). Παρ' όλα αυτά, αξιολογήσεις μεγάλης κλίμακας όπως το PISA έχουν αναφέρει ότι τα οφέλη της μάθησης που βασίζεται στη διερεύνηση στον επιστημονικό εγγραμματισμό εξαρτώνται από την ποιότητα της διδασκαλίας, υπογραμμίζοντας τον καθοριστικό ρόλο της εμπειρογνωμοσύνης των εκπαιδευτικών και της διαχείρισης της τάξης στη μετατροπή των ενεργών παιδαγωγικών μεθόδων σε μετρήσιμα κέρδη (Kang, 2020). Πράγματι, τα δεδομένα του PISA αποκαλύπτουν ότι η διδασκαλία που κατευθύνεται από τον εκπαιδευτικό, και όχι οι μέθοδοι που βασίζονται στην έρευνα, προβλέπει πιο έντονα τον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών, ενώ η τελευταία ενισχύει κυρίως το κίνητρο και τη συμμετοχή (Suárez & Gómez, 2024). Κατά συνέπεια, η διδασκαλία που κατευθύνεται από τον εκπαιδευτικό συνεχίζει να αναδεικνύεται ως ο πιο ισχυρός προγνωστικός παράγοντας για την αύξηση του επιστημονικού εγγραμματισμού όταν οι εκπαιδευτικοί επιδεικνύουν υψηλή άρτια γνώση περιεχομένου και αποτελεσματική διαχείριση της τάξης (Oliver et al., 2019). Παρ' όλα αυτά, η επιρροή της διδασκαλίας που κατευθύνεται από τον εκπαιδευτικό εξαρτάται και από τις διαθέσεις των μαθητών σχετικά με τις φυσικές επιστήμες, όπως η αυτοαποτελεσματικότητα, το ενδιαφέρον και οι επιστημολογικές πεποιθήσεις - οι οποίες διαμορφώνονται από τις διδακτικές προσεγγίσεις (Areepattamannil et al., 2020). Τα προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης που ενισχύουν την αυτοπεποίθηση των εκπαιδευτικών, ώστε να υιοθετήσουν μεθόδους που βασίζονται στην έρευνα έχουν

αποδειχθεί ότι αυξάνουν την πρόθεση των εκπαιδευτικών να εφαρμόσουν αυτές τις προσεγγίσεις, μια προϋπόθεση για τη θετική διαμόρφωση των διαθέσεων των μαθητών απέναντι στις φυσικές επιστήμες (Harmon et al., 2023). Επιπλέον, η ενίσχυση της αυτοαποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών μέσω της στοχευμένης επαγγελματικής ανάπτυξης έχει αναγνωριστεί ως ένας κρίσιμος μοχλός για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών ("International Journal of Instruction," 2018). Συνεπώς, η ενσωμάτωση στρατηγικών που βασίζονται στην έρευνα σε μαθήματα που κατευθύνονται από τον εκπαιδευτικό έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει τόσο την κριτική σκέψη όσο και τις ικανότητες επιστημονικής παιδείας μεταξύ των μαθητών (Harmon et al., 2023).

Μια μικτή προσέγγιση που ενσωματώνει στρατηγικά την άμεση διδασκαλία με την καθοδηγούμενη έρευνα έχει αναγνωριστεί ως ιδιαίτερα αποτελεσματική για την ενίσχυση τόσο της κατανόησης του περιεχομένου όσο και των ανώτερων πτυχών του επιστημονικού εγγραμματισμού (Jong et al., 2023). Πρόσφατες έρευνες σε σχολικά προγράμματα σπουδών, όπως το νέο ελληνικό πρόγραμμα φυσικών επιστημών για το δημοτικό σχολείο, επιβεβαιώνουν ότι η ενσωμάτωση πρακτικών δραστηριοτήτων που βασίζονται στην έρευνα σε παραδοσιακά δομημένα μαθήματα ενισχύει σημαντικά τόσο τη γνώση του περιεχομένου όσο και την ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής συλλογιστικής (Kotsis, 2024). Κατά συνέπεια, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στην επαγγελματική ανάπτυξη που εξοπλίζει τους εκπαιδευτικούς ώστε να συνδυάζουν άψογα την άμεση διδασκαλία με την καθοδηγούμενη έρευνα, μεγιστοποιώντας έτσι τα αποτελέσματα του επιστημονικού εγγραμματισμού (Jong et al., 2023). Παρ' όλα αυτά, ενώ οι πρακτικές που κατευθύνονται από τους εκπαιδευτικούς συνδέονται με υψηλότερες βαθμολογίες επίδοσης, συχνά δεν προάγουν την βαθύτερη επιστημονική συλλογιστική και την κριτική αξιολόγηση, ενισχύοντας την επιτακτική ανάγκη ενσωμάτωσης στοιχείων έρευνας στην άμεση διδασκαλία (Cairns & Areepattamannil, 2021). Εμπειρικές μελέτες μοντέλων μικτής επαγγελματικής ανάπτυξης καταδεικνύουν ότι όταν οι εκπαιδευτικοί λαμβάνουν εκπαίδευση για την ενσωμάτωση σαφών εξηγήσεων με καθοδηγούμενη έρευνα, η επίδοση και ο εγγραμματισμός των μαθητών στις φυσικές επιστήμες βελτιώνονται σημαντικά σε σχέση με οποιαδήποτε από τις δύο προσεγγίσεις ξεχωριστά (Castellano et al., 2023). Η διαρκής, επικεντρωμένη στο περιεχόμενο επαγγελματική ανάπτυξη που ευθυγραμμίζει την επιστημονική εμπειρογνομοσύνη των

εκπαιδευτικών με την ενσωμάτωση της έρευνας, έχει αναγνωριστεί ως καθοριστικός παράγοντας για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των μικτών παιδαγωγικών μεθόδων (Kazempour & Amirshokoohi, 2014). Στοιχεία από εφαρμογές σε δημοτικά σχολεία για τη μετάβαση από τη μεταδοτική στην καθοδηγούμενη έρευνα επιβεβαιώνουν ότι η μικτή διδασκαλία αποφέρει μετρήσιμα κέρδη τόσο στην κατανόηση του περιεχομένου όσο και στις ικανότητες επιστημονικής συλλογιστικής των μαθητών (Castellano et al., 2023). Η διαρκής επαγγελματική ανάπτυξη με επίκεντρο την έρευνα έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει το περιεχόμενο και τις παιδαγωγικές γνώσεις των εκπαιδευτικών, αυξάνοντας έτσι την διδακτική πιστότητα και αποφέροντας διαρκείς βελτιώσεις στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Uum et al., 2019). Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει πώς η διαρκής επαγγελματική ανάπτυξη μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα των εκπαιδευτικών να ενσωματώνουν κίνητρα κριτικής σκέψης στην άμεση διδασκαλία, προωθώντας έτσι περαιτέρω τον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Vieira & Tenreiro-Vieira, 2014). Ακόμη, οι εκπαιδευτικοί οι οποίοι λαμβάνουν διαρκή επαγγελματική ανάπτυξη με επίκεντρο την έρευνα αυξάνουν τόσο τις γνώσεις περιεχομένου όσο και την αυτο-αποτελεσματικότητα, οδηγώντας σε μέτρια κέρδη στις τυποποιημένες βαθμολογίες των μαθητών στις φυσικές επιστήμες (Buczynski & Hansen, 2009). Διαχρονικά στοιχεία υποδηλώνουν ότι τέτοιες μέτριες βελτιώσεις μπορούν να συνεχιστούν και μετά την αρχική περίοδο χρηματοδότησης, υπογραμμίζοντας το διαρκές δυναμικό της διαρκούς επαγγελματικής ανάπτυξης με επίκεντρο την έρευνα (Sandholtz et al., 2016). Επιπλέον, η συνεχής επαγγελματική ανάπτυξη ενθαρρύνει τους εκπαιδευτικούς να βελτιώνουν επαναληπτικά το εκπαιδευτικό υλικό χρησιμοποιώντας στοιχεία από τους μαθητές, ενισχύοντας έτσι την ευθυγράμμιση μεταξύ της διδασκαλίας και της ανάπτυξης επιστημονικής συλλογιστικής (Gerard et al., 2010).

Συνεπώς, ο σχεδιασμός διαρκών, επικεντρωμένων στην έρευνα προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης, τα οποία ταυτόχρονα εμβαθύνουν την εμπειρογνωμοσύνη περιεχομένου και τις παιδαγωγικές δεξιότητες των εκπαιδευτικών, είναι απαραίτητος για την επίτευξη διαρκών βελτιώσεων στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Ellingson et al., 2021). Η μελλοντική έρευνα πρέπει να χρησιμοποιήσει αυστηρά πειραματικά σχέδια για να απομονώσει τις πρόσθετες επιδράσεις της διαρκούς, εμπνευσμένης από τον εγγραμματισμό, επαγγελματικής ανάπτυξης τόσο στις ικανότητες άριστης γνώσης περιεχομένου όσο και στις ικανότητες επιστημονικής

συλλογιστικής (Irby et al., 2021). Η ενσωμάτωση διεπιστημονικών πλαισίων STEM σε αυτά τα μοντέλα επαγγελματικής ανάπτυξης μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω την ικανότητα των εκπαιδευτικών να ενδυναμώσουν τόσο τις πρακτικές περιεχομένου όσο και τις πρακτικές έρευνας, ενισχύοντας έτσι τον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Guzey et al., 2020). Εμπειρικά στοιχεία από πρόσφατες παρεμβάσεις επαγγελματικής ανάπτυξης δείχνουν ότι η παροχή στους εκπαιδευτικούς διεπιστημονικών εργαλείων STEM αυξάνει σημαντικά την εμπειρογνωμοσύνη περιεχομένου και την αυτο-αποτελεσματικότητα τους, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των μικτών διδακτικών σχεδίων (Attard et al., 2021). Συνεπώς, οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να χρησιμοποιούν διαχρονικά μικτά σχέδια μεθόδων για να αξιολογήσουν πώς τα διεπιστημονικά εργαλεία STEM διατηρούν την αυτοαποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών και τον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών με την πάροδο του χρόνου (Zhou et al., 2023). Μια τέτοια διεπιστημονική, διαρκής επαγγελματική ανάπτυξη όχι μόνο εδραιώνει τις γνώσεις των εκπαιδευτικών σε θέματα γνωστικών αντικειμένων, αλλά καλλιεργεί και την παιδαγωγική ευελιξία που απαιτείται για τη μεταφορά των αρχών της έρευνας στην καθημερινή πρακτική της τάξης, ενισχύοντας έτσι την πορεία προς υψηλότερο επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Hill et al., 2020). Μια τέτοια διαρκής, προσανατολισμένη στην έρευνα επαγγελματική ανάπτυξη έχει εμπειρικά συνδεθεί με διαρκή κέρδη στην επιστημονική εμπειρογνωμοσύνη και την διδακτική πιστότητα των εκπαιδευτικών, τα οποία με τη σειρά τους μεταφράζονται σε μετρήσιμες βελτιώσεις στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Sandholtz & Ringstaff, 2013). Επιπλέον, πρωτοβουλίες επαγγελματικής ανάπτυξης ευθυγραμμισμένες με το πλαίσιο που ενσωματώνουν την επιστήμη με τον εγγραμματισμό έχουν τεκμηριωθεί ότι ενισχύουν τα πρώιμα αποτελέσματα εγγραμματισμού, ενώ παράλληλα ενισχύουν την αυτοαποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών σε θέματα γνωστικών αντικειμένων (Paprzycki et al., 2017). Αυτή η επαγγελματική ανάπτυξη που βασίζεται στον εγγραμματισμό καλλιεργεί επίσης την ικανότητα των μαθητών να αξιολογούν κριτικά επιστημονικά κείμενα, εξοπλίζοντάς τους έτσι ώστε να αντιμετωπίζουν την παραπληροφόρηση και να ενισχύουν τον κοινωνικό επιστημονικό εγγραμματισμό (Kelp et al., 2023). Κατά συνέπεια, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θα πρέπει να διαθέσουν πόρους σε κλιμακωτά, διεπιστημονικά πλαίσια επαγγελματικής ανάπτυξης εγγραμματισμού STEM, τα οποία έχουν αποδειχθεί ότι ενισχύουν ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών και την ικανότητα των μαθητών να ασκούν

κριτική στις επιστημονικές πληροφορίες (Aguilera et al., 2021). Μετα-αναλυτικές και εμπειρικές έρευνες επιβεβαιώνουν ότι η διαρκής διεπιστημονική επαγγελματική ανάπτυξη που βασίζεται στον εγγραμματισμό ενισχύει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών και, κατά συνέπεια, αυξάνει τον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών (Wu et al., 2024). Μελλοντικές πρωτοβουλίες θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν τις συνεργασίες πανεπιστημίου-σχολείου για τον από κοινού σχεδιασμό προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης, διασφαλίζοντας τη συνεχή ευθυγράμμιση με τα εξελισσόμενα επιστημονικά πρότυπα και ενισχύοντας μια κοινότητα πρακτικής που διατηρεί τα κέρδη στον εγγραμματισμό (O'Dwyer et al., 2023).

Η ενσωμάτωση ολοκληρωμένων πλαισίων STEM σε πρωτοβουλίες βιώσιμης επαγγελματικής ανάπτυξης ενισχύει περαιτέρω τη βιωσιμότητα των κερδών στον εγγραμματισμό, ενθαρρύνοντας μια κοινότητα πρακτικής που εξελίσσεται συνεχώς με τις επιστημονικές εξελίξεις (Han et al., 2022). Οι αυστηρές διαχρονικές αξιολογήσεις που παρακολουθούν τα κέρδη στη γνώση περιεχομένου και την επιστημονική συλλογιστική είναι απαραίτητες για την τεκμηρίωση του διαρκούς αντίκτυπου των διεπιστημονικών πρωτοβουλιών επαγγελματικής ανάπτυξης που βασίζονται στον εγγραμματισμό (Ma et al., 2025). Η ενσωμάτωση σαφών ενοτήτων αξιολόγησης του εγγραμματισμού σε αυτές τις πρωτοβουλίες έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει περαιτέρω την αυτοαποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών και βελτιώνει τα αποτελέσματα του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών (Zhou et al., 2023). Συνεπώς, η συστηματική αξιολόγηση τέτοιων μοντέλων επαγγελματικής ανάπτυξης που βασίζονται στον εγγραμματισμό σε διαφορετικά σχολικά πλαίσια είναι απαραίτητη για την επικύρωση της επεκτασιμότητας και του αντίκτυπού τους στην πρακτική των εκπαιδευτικών και στα αποτελέσματα των μαθητών (Huang et al., 2022) (Stevens et al., 2022).

4.1.4 Βασικά ευρήματα και επιδράσεις

Η ανάλυση των μελετών αναδεικνύει σαφείς διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις παραδοσιακές και στις ενεργητικές ή διερευνητικές προσεγγίσεις διδασκαλίας, τόσο ως προς τη μετάδοση γνώσεων όσο και ως προς την ανάπτυξη δεξιοτήτων ανώτερης τάξης και στάσεων απέναντι στην επιστήμη.

Η συμβατική διδασκαλία εξακολουθεί να παρουσιάζει ισχυρά σημεία, ιδιαίτερα στο στάδιο εισαγωγής θεωρητικών εννοιών. Η δομημένη μορφή της, με σαφή παρουσίαση περιεχομένου και ελεγχόμενο ρυθμό μάθησης, συμβάλλει στη μείωση του γνωστικού φορτίου, διευκολύνοντας μαθητές με περιορισμένες προϋπάρχουσες γνώσεις να κατανοήσουν βασικές επιστημονικές έννοιες. Ερευνητικά δεδομένα και αναλύσεις από τις μελέτες του PISA επιβεβαιώνουν ότι οι teacher-directed πρακτικές σχετίζονται θετικά με την επίδοση των μαθητών σε γνωστικές δοκιμασίες βασικού επιπέδου. Ωστόσο, παρά τη θετική αυτή επίδραση στη μετάδοση γνώσεων περιεχομένου, η βελτίωση συχνά περιορίζεται σε επιφανειακή κατανόηση και δεν συνοδεύεται από στατιστικά σημαντική πρόοδο σε όλες τις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού. Η συμβατική διδασκαλία επικεντρώνεται κυρίως στην απομνημόνευση και στην αναπαραγωγή γνώσης, καθιστώντας τον μαθητή παθητικό δέκτη. Ως εκ τούτου, δεν ενισχύει επαρκώς τις επιστημονικές δεξιότητες που απαιτούν ενεργητική εμπλοκή, όπως η κριτική σκέψη, η επίλυση προβλημάτων και η διερευνητική μάθηση (Mohammed et al., 2020). Το γεγονός αυτό έχει συνδεθεί με τη διατήρηση εναλλακτικών ιδεών και παρανοήσεων σχετικά με επιστημονικά φαινόμενα (Ma et al., 2025). Παράλληλα, η παραδοσιακή διδασκαλία σπάνια εστιάζει στη φύση της επιστήμης, παρουσιάζοντάς την ως ένα στατικό σώμα δεδομένων, και όχι ως μια δυναμική, αναθεωρήσιμη διαδικασία που βασίζεται σε εμπειρικές αποδείξεις και κοινωνικές διαστάσεις (Métoui, 2025). Ως αποτέλεσμα, η κατανόηση της φύσης της επιστήμης παραμένει περιορισμένη, ενώ οι μαθητές συχνά αδυνατούν να αναγνωρίσουν πώς παράγεται και αξιολογείται η επιστημονική γνώση. Αντιθέτως, οι ενεργητικές μορφές μάθησης και ιδιαίτερα η οδηγούμενη διερεύνηση εμφανίζουν ισχυρότερη θετική επίδραση στην ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού. Μετα-αναλύσεις όπως εκείνη των Freeman et al. (2014), δείχνουν ότι η ενεργητική μάθηση οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της ακαδημαϊκής επίδοσης και σε μείωση των ποσοστών αποτυχίας σε μαθήματα STEM, σε σύγκριση με τη διδασκαλία μέσω διαλέξεων. Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν την υπεροχή διδακτικών πρακτικών που εμπλέκουν ενεργά τους μαθητές στη διατύπωση υποθέσεων, στην επίλυση προβλημάτων, στη συνεργατική συζήτηση και στην αναστοχαστική σκέψη. Η οδηγούμενη διερεύνηση συνδυάζει την αυτενέργεια των μαθητών με στοχευμένη καθοδήγηση από τον εκπαιδευτικό, ενισχύοντας τη συστηματικότητα και τη μεταγνωστική τους ανάπτυξη. Οι έρευνες δείχνουν ότι η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στην καλλιέργεια της επιστημονικής σκέψης και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων

διερεύνησης και αιτιολόγησης. Αντίθετα, η πλήρως ανοικτή διερεύνηση, χωρίς επαρκή υποστήριξη, συχνά οδηγεί σε ασθενέστερα ή αντιφατικά μαθησιακά αποτελέσματα, ιδίως σε μικρότερες ηλικίες. Κρίσιμος παράγοντας αποτελεσματικότητας όλων των παραπάνω προσεγγίσεων είναι το επίπεδο καθοδήγησης. Θεωρητικά και εμπειρικά δεδομένα (Kirschner et al. 2006) καταδεικνύουν ότι η διδασκαλία με ελάχιστη καθοδήγηση είναι ανεπαρκής για αρχάριους μαθητές, καθώς οδηγεί σε γνωστική υπερφόρτωση και απογοήτευση. Αντίθετα, η σταδιακή υποστήριξη, που μειώνεται καθώς οι μαθητές αποκτούν εμπειρία, έχει αποδειχθεί πιο αποτελεσματική για τη διατήρηση της εμπλοκής και την προώθηση της αυτόνομης μάθησης. Οι διαφορές στην αποτελεσματικότητα των προσεγγίσεων εξαρτώνται επίσης από το είδος των μετρήσεων που χρησιμοποιούνται. Οι εξετάσεις γνώσεων και οι βραχυπρόθεσμες δοκιμασίες τείνουν να ευνοούν τη συμβατική διδασκαλία, καθώς αποτιμούν την αναπαραγωγή πληροφοριών. Τέλος, η συμβατική διδασκαλία φαίνεται να έχει περιορισμένη θετική επίδραση στη δέσμευση και το κίνητρο των μαθητών. Η έμφαση στην παθητική λήψη γνώσης οδηγεί συχνά σε μείωση του ενδιαφέροντος, απώλεια προσοχής και μειωμένη ενεργή συμμετοχή (Benavides et al., 2021). Αντίθετα, οι ενεργητικές προσεγγίσεις συνδέονται με αυξημένη ενδογενή παρακίνηση, ικανοποίηση και αίσθηση προσωπικού ελέγχου της μάθησης, στοιχεία που αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη διαμόρφωση επιστημονικά εγγράμματων πολιτών.

4.1.5 Προκλήσεις και περιορισμοί

Οι προσεγγίσεις της συμβατικής διδασκαλίας συχνά δεν ευθυγραμμίζονται με τις σύγχρονες εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις που τονίζουν τον επιστημονικό εγγραμματισμό και τις δεξιότητες έρευνας (Sultan et al., 2021). Υπάρχει μια "αντίθεση" μεταξύ του στόχου της μετάδοσης πληροφοριών και του στόχου της εκπαίδευσης επιδέξιων, ανεξάρτητων δημιουργών και κριτικών στοχαστών (Dubinsky & Hamid, 2024). Η έλλειψη εστίασης στην ενεργό οικοδόμηση της γνώσης και στην ανάπτυξη μεταγνωστικών πτυχών της επιστήμης είναι κρίσιμοι περιορισμοί.

4.1.6 Συμπέρασμα

Ενώ η συμβατική διδασκαλία διατηρεί έναν ρόλο στη μετάδοση βασικών γνώσεων, οι σύγχρονες εκπαιδευτικές ανάγκες για έναν ολοκληρωμένο επιστημονικό εγγραμματισμό αναδεικνύουν τις σημαντικές της αδυναμίες (Crowell & Schunn,

2015). Για την αποτελεσματική ανάπτυξη των διαδικασιών της επιστήμης, της φύσης της επιστήμης και των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα, η βιβλιογραφία υποστηρίζει τη μετάβαση προς πιο ενεργητικές, διερευνητικές και τεχνολογικά ενισχυμένες διδακτικές προσεγγίσεις (Morris, 2025).

4.2 Ερευνητικό κενό

Η ΕΠ και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις αποτελούν πολλά υποσχόμενες οδούς για την ενίσχυση της επιστημονικής εκπαίδευσης, ωστόσο η ολοκληρωμένη κατανόηση της συγκριτικής αποτελεσματικότητάς τους έναντι των παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας, ειδικά όσον αφορά τον επιστημονικό εγγραμματισμό στην κυτταρική βιολογία, παραμένει περιορισμένη (Shankar, 2023). Ενώ οι εφαρμογές ΕΠ έχουν δείξει δυνατότητες βελτίωσης της εμπλοκής των μαθητών και των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, ο συγκεκριμένος αντίκτυπός τους στην εννοιολογική κατανόηση σύνθετων βιολογικών δομών από τους μαθητές, όπως τα φυτικά και ζωικά κύτταρα, απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση (Erwinsah et al., 2019). Επιπλέον, η ενσωμάτωση διαδραστικών προσομοιώσεων, σχεδιασμένων να μιμούνται κυτταρικές διεργασίες, προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση στην οπτικοποίηση και κατανόηση αφηρημένων βιολογικών εννοιών (Roméro, 2019). Είναι κρίσιμο να προσδιοριστεί εάν αυτές οι προσομοιώσεις παρέχουν μια πιο αποτελεσματική μαθησιακή εμπειρία από τις παραδοσιακές μεθόδους, όπως οι αναγνώσεις σχολικών βιβλίων και τα εργαστηριακά πειράματα (Wieman & Perkins, 2006).

Οι υπάρχουσες μελέτες για τις εκπαιδευτικές προσομοιώσεις υπογραμμίζουν τη σημασία του διδακτικού σχεδιασμού στη μεγιστοποίηση των μαθησιακών κερδών, αλλά υπάρχει ανάγκη να εξεταστεί πώς αυτές οι αρχές σχεδιασμού μεταφράζονται στο πλαίσιο της εκπαίδευσης στην κυτταρική βιολογία (Scalise et al., 2011). Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη να αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο η ΕΠ και οι προσομοιώσεις μπορούν να αντιμετωπίσουν κοινές παρανοήσεις σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία των κυττάρων. Συγκρίνοντας αυτές τις προσεγγίσεις απευθείας, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με το ποια εργαλεία είναι τα πιο κατάλληλα για διαφορετικούς μαθησιακούς στόχους και μαθητικούς πληθυσμούς. Είναι επίσης απαραίτητο να διερευνηθεί πώς αυτές οι τεχνολογίες επηρεάζουν τις

στάσεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη και το κίνητρό τους να μάθουν για την κυτταρική βιολογία. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση παραγόντων όπως η χρηστικότητα, η εμπλοκή και η αντιληπτή αξία κάθε προσέγγισης. Επιπλέον, θα πρέπει να διερευνηθεί ο ρόλος της διευκόλυνσης από τους εκπαιδευτικούς στη διαμεσολάβηση της αποτελεσματικότητας της ΕΠ και των προσομοιώσεων, λαμβάνοντας υπόψη ότι η επιτυχία αυτών των τεχνολογιών εξαρτάται από την ικανότητα των εκπαιδευτικών να τις ενσωματώσουν απρόσκοπτα στη διδασκαλία τους (Navarro et al., 2024).

Η αντιμετώπιση του κενού απαιτεί έναν αυστηρό ερευνητικό σχεδιασμό που ενσωματώνει τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές μεθόδους συλλογής δεδομένων. Ποσοτικά μέτρα, όπως οι προ- και μετα-δοκιμασίες, μπορούν να αξιολογήσουν την εννοιολογική κατανόηση των φυτικών και ζωικών κυττάρων από τους μαθητές, ενώ ποιοτικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των συνεντεύξεων των μαθητών και των παρατηρήσεων στην τάξη, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τις μαθησιακές τους εμπειρίες και αντιλήψεις. Μια τέτοια συγκριτική ανάλυση θα πρέπει επίσης να λάβει υπόψη τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των γνώσεων και των δεξιοτήτων που αποκτώνται μέσω κάθε προσέγγισης. Είναι επίσης σημαντικό να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα των εικονικών προσομοιώσεων μάθησης στην καλλιέργεια γνωστικών και μη γνωστικών δεξιοτήτων μεταξύ των μαθητών λυκείου, καθιστώντας παράλληλα τους τομείς STEM πιο ελκυστικούς για αυτούς (Thisgaard & Makransky, 2017). Παρακολουθώντας τους μαθητές με την πάροδο του χρόνου, οι ερευνητές μπορούν να προσδιορίσουν εάν τα οφέλη της ΕΠ και των προσομοιώσεων παραμένουν πέρα από το άμεσο μαθησιακό πλαίσιο. Τα ευρήματα αυτής της έρευνας θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην εκπαίδευση στις θετικές επιστήμες, διαμορφώνοντας τον σχεδιασμό και την εφαρμογή αποτελεσματικών διδακτικών στρατηγικών που προάγουν τον επιστημονικό εγγραμματισμό στην κυτταρική βιολογία και όχι μόνο.

Μελέτες δείχνουν ότι οι προσομοιώσεις και η εικονική πραγματικότητα αποτελούν αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τις παραδοσιακές πρακτικές (Mrani et al., 2020). Οι μαθητές που χρησιμοποιούν εικονική πραγματικότητα για να εξερευνήσουν κύτταρα έχουν επιδείξει θετικά μαθησιακά αποτελέσματα (Markowitz et al., 2018). Οι προσομοιώσεις και τα εικονικά εργαστήρια αποτελούν δημιουργικές, σύγχρονες και οικονομικές επιλογές για πανεπιστήμια και εκπαιδευτικά ιδρύματα

(Peña et al., 2020). Μια μελέτη εξέτασε τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας σε περιβάλλοντα παλιρροιακής ζώνης. Η μελέτη διαπίστωσε ότι οι μαθητές που χρησιμοποιούν εικονική πραγματικότητα σημείωσαν υψηλότερες βαθμολογίες από εκείνους που χρησιμοποιούν παραδοσιακές μεθόδους μάθησης (Vola et al., 2023). Η εικονική πραγματικότητα επιτρέπει στους μαθητές να συμμετέχουν ενεργά, να βελτιώνουν τη μαθησιακή τους εμπειρία και να αυξάνουν τη μαθησιακή τους απόδοση. Μια άλλη πρόσφατη μελέτη διερεύνησε τις εμπειρίες των μαθητών σε ένα εικονικό εργαστήριο χημείας. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτό το στυλ μάθησης επέτρεψε στους μαθητές να συμμετέχουν σε ενεργητική μάθηση μέσω αλληλεπίδρασης και συνεργασίας με άλλους μαθητές (Thompson et al., 2018). Η ΕΠ μπορεί να βελτιώσει τη μάθηση συνδέοντας τη θεωρητική γνώση με πρακτικές εμπειρίες (Villena-Taranilla & Diago, 2025). Το μαθησιακό περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει την κατανόηση του αντικειμένου από τους μαθητές. Είναι επιτακτική ανάγκη να διερευνηθεί ο αντίκτυπος της ΕΠ στις στάσεις και τα κίνητρα των μαθητών απέναντι στη μάθηση των φυσικών επιστημών, ειδικά στο πλαίσιο της βιολογίας φυτικών και ζωικών κυττάρων. Η εξέταση της χρηστικότητας, της εμπλοκής και της αντιληπτής αξίας των εργαλείων ΕΠ είναι ζωτικής σημασίας για την ενημέρωση του διδακτικού σχεδιασμού και των στρατηγικών εφαρμογής. Η ΕΠ μπορεί να αυξήσει την αυτοαποτελεσματικότητα μέσω θετικών μαθησιακών εμπειριών και ανατροφοδότησης της απόδοσης (Thisgaard & Makransky, 2017). Δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με εφαρμογές εικονικού και πραγματικού χρόνου και φέρνει φυσικές εμπειρίες στον χρήστη (Sarode et al., 2019). Η ΕΠ βελτιώνει τη μαθησιακή εμπλοκή και τα κίνητρα (Palada et al., 2024). Η ΕΠ και η εικονική πραγματικότητα δημιουργούν καθηλωτικά μαθησιακά περιβάλλοντα που ενισχύουν τη εμπλοκή των μαθητών και βελτιώνουν τα ποσοστά διατήρησης της γνώσης (Crogman et al., 2025). Η βιωματική μάθηση και η γνωστική διέγερση είναι φυσικά συμβατές με τις τεχνολογίες εμπύθισης (Thangavel, 2025). Η ΕΠ είναι ένα μέσο που συνδυάζει τον φυσικό και τον εικονικό κόσμο, προσφέροντας μια μοναδική ευκαιρία που ευθυγραμμίζει πραγματικά και εικονικά αντικείμενα (Ramli et al., 2021).

Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις παρέχουν καθηλωτικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας στους μαθητές να βιώνουν γεγονότα και να διεξάγουν πειράματα εικονικά, ενθαρρύνοντας μια βαθύτερη κατανόηση και εμπλοκή (Chiang, 2021). Οι τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας δημιουργούν ρεαλιστικά και καθηλωτικά

εικονικά περιβάλλοντα μάθησης που επιτρέπουν στους μαθητές να αποκτούν γνώσεις μέσω ρεαλιστικών εμπειριών (Antón-Sancho et al., 2024). Και οι δύο τεχνολογίες φέρνουν επανάσταση στην εκπαίδευση προσφέροντας καθηλωτικές, διαδραστικές και ενδιαφέρουσες μαθησιακές εμπειρίες, βελτιώνοντας τη διατήρηση γνώσεων και την ανάπτυξη δεξιοτήτων στους τομείς STEM, την ιατρική, την εκμάθηση γλωσσών και την ειδική αγωγή (Crogman et al., 2025). Η εικονική πραγματικότητα ενισχύει την διαδικτυακή μάθηση και γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ της εμπειρίας του πραγματικού κόσμου και της διαδικτυακής μάθησης (Wasfy et al., 2011). Μπορεί επίσης να δώσει στους μαθητές εξατομικευμένα ή προσαρμοσμένα ανατροφοδοτήματα, η οποία αποτελεί πλεονέκτημα για τους μαθητές όταν κάνουν σχολικές εργασίες ή μαθαίνουν νέες δεξιότητες (Matkonič, 2024). Η ΕΠ προσφέρει πρακτικές εμπειρίες σε εικονικά περιβάλλοντα και ενισχύει τη βιωματική μάθηση επιτρέποντας στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις (Palada et al., 2024). Η μείωση του κόστους της ΕΠ και του υλικού εικονικής πραγματικότητας πιθανότατα θα κάνει την τεχνολογία πιο προσιτή.

Μια ζωτική κατεύθυνση περιλαμβάνει την εξερεύνηση αποτελεσματικών στρατηγικών ενσωμάτωσης, που περιλαμβάνουν παιδαγωγικά πλαίσια και προγράμματα κατάρτισης εκπαιδευτικών, απαραίτητα για τη μεγιστοποίηση της επιρροής της επαυξημένης πραγματικότητας και των εργαλείων εικονικής πραγματικότητας στον επιστημονικό εγγραμματισμό (Al-Ansi et al., 2023). Η εικονική πραγματικότητα και η ΕΠ προσφέρουν μοναδικά πλεονεκτήματα και ευκαιρίες για τη διδακτική διαδικασία (Schutera et al., 2021). Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις βέλτιστες πρακτικές για την ενσωμάτωση της ΕΠ και της εικονικής πραγματικότητας στο πρόγραμμα σπουδών των φυσικών επιστημών, διασφαλίζοντας την ευθυγράμμιση με τους μαθησιακούς στόχους και τις παιδαγωγικές αρχές. Μια άλλη πτυχή που πρέπει να διερευνηθεί είναι ο τρόπος με τον οποίο τα περιβάλλοντα ΕΠ και προσομοίωσης μπορούν να προσαρμοστούν για να αντιμετωπίσουν ποικίλες μαθησιακές ανάγκες και προτιμήσεις. Απαιτείται επίσης περαιτέρω έρευνα για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα της ΕΠ στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων των μαθητών.

5 Μεθοδολογία

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει λεπτομερώς την ερευνητική μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τη διερεύνηση της συγκριτικής επίδρασης της επαυξημένης πραγματικότητας, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό μαθητών/τριών, με ειδική εστίαση στην κατανόηση του φυτικού και ζωικού κυττάρου. Περιγράφονται ο ερευνητικός σχεδιασμός, ο πληθυσμός και το δείγμα της έρευνας, τα εργαλεία συλλογής δεδομένων, η περιγραφή της διδακτικής παρέμβασης ανά ομάδα, καθώς και η διαδικασία διεξαγωγής της έρευνας. Στόχος είναι η πλήρης διαφάνεια και η αναπαραγωγιμότητα των διαδικασιών, επιτρέποντας στον αναγνώστη να κατανοήσει την προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την επίτευξη των ερευνητικών στόχων.

5.1 Θεματική ανάλυση ποιοτικών δεδομένων

Η θεματική ανάλυση αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη αλλά ευέλικτη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην ποιοτική έρευνα για τη διάκριση μοτίβων νοήματος μέσα στα δεδομένα. Λειτουργεί ως γενικός όρος, που περιλαμβάνει ποικίλες προσεγγίσεις και όχι μια μονολιθική τεχνική, καθεμία από τις οποίες υποστηρίζεται από ξεχωριστές φιλοσοφικές και εννοιολογικές υποθέσεις που επηρεάζουν τις διαδικαστικές παραλλαγές (Nowell et al., 2017). Ως ποιοτική αναλυτική μέθοδος, χρησιμοποιείται ευρέως, αλλά συχνά δεν οριοθετείται επαρκώς και σπάνια αναγνωρίζεται (Braun & Clarke, 2022). Η θεματική ανάλυση προσφέρει στους ερευνητές ένα ευέλικτο σύνολο εργαλείων για τη συστηματική αναγνώριση, οργάνωση και ερμηνεία μοτίβων νοήματος, γνωστών ως θεμάτων, σε ένα σύνολο δεδομένων (Kiger & Varpio, 2020). Η διαδικασία συνήθως περιλαμβάνει την εξοικείωση με τα δεδομένα, τη δημιουργία αρχικών κωδικών, την αναζήτηση θεμάτων, την αναθεώρηση θεμάτων, τον ορισμό και την ονομασία θεμάτων και τη σύνταξη μιας έκθεσης. Η ευελιξία της θεματικής ανάλυσης της επιτρέπει να προσαρμόζεται σε διάφορα ερευνητικά ερωτήματα και επιστημολογικές θέσεις, καθιστώντας την κατάλληλη τόσο για διερευνητικές μελέτες που επιδιώκουν να αποκαλύψουν νέες γνώσεις όσο και για θεωρητικές έρευνες που στοχεύουν στη δοκιμή προϋπαρχόντων πλαισίων (Braun & Clarke, 2022). Οι επιστημολογικές και οντολογικές σκέψεις διαμορφώνουν σε βάθος την αναλυτική διαδικασία και τις προκύπτουσες ερμηνείες (Ayre & McCaffery, 2021). Η θεματική ανάλυση διακρίνεται για την

προσβασιμότητα και τη θεωρητική της ευελιξία, τοποθετώντας την ως ένα πολύτιμο εργαλείο σε ένα φάσμα επιστημονικών κλάδων πέρα από την ψυχολογία (Braun & Clarke, 2006). Μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα ποιοτικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των απομαγνητοφωνήσεων συνεντεύξεων, των απαντήσεων σε έρευνες ανοιχτού τύπου, των συζητήσεων σε ομάδες εστίασης και των κειμενικών εγγράφων, προσφέροντας μια συστηματική προσέγγιση στη μείωση και την ερμηνεία των δεδομένων. Παρά την ευρεία εφαρμογή της, η θεματική ανάλυση δεν είναι χωρίς προκλήσεις, απαιτώντας από τους ερευνητές να αντιμετωπίσουν πιθανές παγίδες, όπως τα ασαφή θέματα, ο ανεπαρκής κορεσμός των δεδομένων και η έλλειψη ερμηνευτικής αυστηρότητας (Braun & Clarke, 2006). Τηρώντας συστηματικές και διαφανείς διαδικασίες, οι ερευνητές μπορούν να ενισχύσουν την αξιοπιστία και την αξιοπιστία των θεματικών αναλύσεών τους, διασφαλίζοντας ότι τα προσδιοριζόμενα θέματα αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τις έννοιες και τις εμπειρίες που ενσωματώνονται στα δεδομένα (Nowell et al., 2017). Ως εκ τούτου, αυτή η αναλυτική μέθοδος παρέχει στους ερευνητές μια λεπτομερή κατανόηση των υποκειμένων και των ερμηνειών τους. Αν και μπορεί να φαίνεται γραμμική, είναι στην πραγματικότητα επαναληπτική και αναστοχαστική, με την ανάλυση και την κωδικοποίηση δεδομένων να γίνονται ταυτόχρονα. Η εξέταση της προϋπάρχουσας γνώσης των μαθητών σχετικά με τα φυτικά και ζωικά κύτταρα μέσω ερωτήσεων ανοιχτού τύπου παρέχει ανεκτίμητες γνώσεις σχετικά με τα γνωστικά τους πλαίσια και τις πιθανές παρανοήσεις (Rosen, 1989). Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να προσαρμόζουν τη διδασκαλία ώστε να αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα κενά στην κατανόηση και να βασίζονται στην υπάρχουσα γνώση, ενισχύοντας τελικά ένα πιο αποτελεσματικό μαθησιακό περιβάλλον (Stanton et al., 2021). Οι ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, σε αντίθεση με τις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής ή σωστού/λάθους, απαιτούν από τους μαθητές να διατυπώνουν τις σκέψεις και τη συλλογιστική τους, προσφέροντας μια πλουσιότερη και πιο λεπτή εικόνα της κατανόησής τους. Αυτή η μέθοδος ενθαρρύνει επίσης τους μαθητές να εκφράσουν και να επεξεργαστούν τη σκέψη τους, παρέχοντας αιτιολογήσεις για τις σκέψεις τους και εμπλέκοντάς τους σε σκέψη ανώτερης τάξης που περιλαμβάνει συλλογισμό και κρίση (Worley, 2015). Η ανάλυση ποιοτικών δεδομένων από ερωτηματολόγια ανοιχτού τύπου σχετικά με την ΕΠ απαιτεί μια αυστηρή και συστηματική μεθοδολογία για την εξαγωγή ουσιαστικών γνώσεων και μοτίβων (Dünser et al., 2007). Το αρχικό βήμα περιλαμβάνει την προετοιμασία των δεδομένων, η οποία

περιλαμβάνει την ακριβή μεταγραφή των απαντήσεων και την ανωνυμοποίηση των δεδομένων για την προστασία του απορρήτου των συμμετεχόντων (Engwall, 1983). Μόλις προετοιμαστούν τα δεδομένα, εφαρμόζεται μια προσέγγιση θεματικής ανάλυσης για τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων θεμάτων και μοτίβων στις απαντήσεις. Αυτή η διαδικασία ξεκινά με μια διεξοδική ανάγνωση των μεταγραφόμενων δεδομένων για την απόκτηση μιας ολιστικής κατανόησης των απαντήσεων. Οι αρχικοί κωδικοί στη συνέχεια αντιστοιχίζονται σε τμήματα κειμένου που καταγράφουν βασικές ιδέες ή έννοιες που σχετίζονται με την ΕΠ, διασφαλίζοντας ότι οι κωδικοί βασίζονται στα δεδομένα και αντικατοπτρίζουν τις προοπτικές των συμμετεχόντων. Οι προσδιορισμένοι κωδικοί οργανώνονται στη συνέχεια σε ευρύτερα θέματα, τα οποία αντιπροσωπεύουν γενικές έννοιες ή αφηγήσεις που προκύπτουν από τα δεδομένα. Αυτά τα θέματα βελτιώνονται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας αναθεώρησης και σύγκρισης κωδικών και αποσπασμάτων, διασφαλίζοντας ότι αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια το εύρος των προοπτικών που εκφράζονται στα δεδομένα. Ο αντίκτυπος των μαθησιακών εμπειριών ΕΠ μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητός εξετάζοντας την προσοχή, τη συνάφεια, την εμπιστοσύνη και την ικανοποίηση (Prasetya et al., 2024).

5.2 Ανάλυση απαντήσεων μαθητών ΣΤ' Δημοτικού σε ερωτήσεις ανοικτού τύπου για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα

Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 23 ερωτήσεις ομαδοποιημένες σε τρεις διαστάσεις:

Μέρος 1: Γνώσεις Περιεχομένου, Ανοιχτές ερωτήσεις, Αξιολόγηση βασικών γνώσεων για κύτταρα, φυτά, ζώα.

Μέρος 2: Διαδικασίες Επιστήμης, Κλειστές ερωτήσεις (πολλαπλής επιλογής).

Μέρος 3: Φύση της Επιστήμης, Ανοιχτές (υποθετικές/κριτικές). Αξιολόγηση δημιουργικότητας, κατανόησης επιστημονικών μεθόδων, εφαρμογών.

Αφού ολοκληρωθεί η συλλογή των δοθέντων ερωτηματολογίων από τις τρεις ομάδες (διδασκαλία του φυτικού και του φυτικού κυττάρου με χρήση ΕΠ, εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και συμβατικής διδασκαλίας) γίνεται μια πρώτη ανάγνωση των απαντήσεων των μαθητών, ώστε ο ερευνητής να αποκτήσει μια εικόνα του συνολικού περιεχομένου.

Προετοιμασία δεδομένων

-Κωδικοποίηση Απαντήσεων

Οι απαντήσεις των μαθητών μετατρέπονται σε ποσοτικές τιμές. Αποδίδουμε τον κωδικό 3, όταν οι απαντήσεις περιέχουν ακριβή επιστημονική γνώση. Ο κωδικός 2 δίνεται σε απαντήσεις όπου παρατηρούμε γενική κατανόηση της ερώτησης χωρίς λεπτομέρειες και ο κωδικός 1 αφορά απαντήσεις οι οποίες θεωρούνται ότι υπάρχει έλλειψη ή ανακρίβεια της γνώσης. Τέλος, δίνεται ο κωδικός 0 όταν δεν δίνεται καμία απάντηση, η δοθείσα απάντηση είναι εναλλακτική ιδέα ή υπάρχει έλλειψη απάντησης

Παράδειγμα ερώτησης: "Τι βλέπεις στο εσωτερικό ενός φρούτου;"

Απάντηση:

"Κύτταρα, χλωροπλάστες", κωδικός 3, Ακριβής επιστημονική γνώση.

"Μικρά σωματίδια", κωδικός 2, γενική κατανόηση χωρίς λεπτομέρειες.

"Χυμός", κωδικός 1, ελλιπής ή ανακριβής γνώση.

"Δεν γνωρίζω την απάντηση", κωδικός 0, απουσία απάντησης ή εναλλακτικές ιδέες

-Ομαδοποίηση

Οι απαντήσεις διαχωρίζονται ανάλογα με τη διάσταση (Γνώσεις, Διαδικασίες, Φύση) και ανά κατηγορία ερωτήσεων.

5.3 Ποσοτική ανάλυση

Η ποσοτική ανάλυση περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα στατιστικών μεθόδων που έχουν σχεδιαστεί για την ερμηνεία αριθμητικών δεδομένων και την εξαγωγή σχέσεων, διαφορών ή μοτίβων εντός συνόλων δεδομένων. Αυτή η αυστηρή προσέγγιση είναι θεμελιώδης σε διάφορους ερευνητικούς τομείς για την επικύρωση υποθέσεων και τη γενίκευση ευρημάτων από ένα δείγμα σε έναν ευρύτερο πληθυσμό (Guetterman, 2019). Μεταξύ των ακρογωνιαίων λίθων τεχνικών στην ποσοτική ανάλυση είναι το t-test και η Ανάλυση Διακύμανσης, οι οποίες είναι επαγωγικές στατιστικές δοκιμές που

χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση μέσων τιμών μεταξύ διαφορετικών ομάδων (Mishra et al., 2019). Ενώ το t-test χρησιμοποιείται κυρίως για τη σύγκριση των μέσων τιμών δύο διακριτών ομάδων, η ANOVA επεκτείνει αυτήν τη δυνατότητα σε σενάρια που περιλαμβάνουν περισσότερες από δύο ομάδες (Kim, 2014). Αυτή η διάκριση είναι κρίσιμη, καθώς η χρήση πολλαπλών t-test για περισσότερες από δύο ομάδες θα αύξανε το ποσοστό σφάλματος Τύπου I, καθιστώντας την ANOVA την πιο στατιστικά κατάλληλη και ισχυρή επιλογή για τέτοιες συγκρίσεις (Molugaram & Rao, 2017). Το t-test, συγκεκριμένα, αξιολογεί εάν η παρατηρούμενη διαφορά μεταξύ των μέσων όρων δύο ομάδων είναι στατιστικά σημαντική, συχνά υποθέτοντας μια κανονική κατανομή και ίσες διακυμάνσεις, αν και υπάρχουν διακυμάνσεις για να ληφθούν υπόψη οι παραβιάσεις αυτών των υποθέσεων. Αντίθετα, η ANOVA καθορίζει εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων όρων τριών ή περισσότερων ανεξάρτητων ομάδων, διαχωρίζοντας τη συνολική διακύμανση που παρατηρείται σε ένα σύνολο δεδομένων σε διαφορετικά στοιχεία που αποδίδονται σε διάφορες πηγές (Drummond & Vowler, 2012). Αυτή η διαμέριση επιτρέπει στους ερευνητές να διαπιστώσουν εάν η διακύμανση μεταξύ των μέσων όρων των ομάδων είναι μεγαλύτερη από τη διακύμανση εντός των ίδιων των ομάδων, υποδεικνύοντας έτσι μια σημαντική επίδραση της ανεξάρτητης μεταβλητής (Sawyer, 2009). Για παράδειγμα, ο R.A. Fisher ανέπτυξε την Ανάλυση Διακύμανσης ως μια παραμετρική στατιστική τεχνική για τη σύγκριση συνόλων δεδομένων, η οποία λειτουργεί συγκρίνοντας τους μέσους όρους και τις σχετικές διακυμάνσεις τους σε πολλαπλούς πληθυσμούς ή δείγματα (Hle & Wold, 1989). Παρά τη χρησιμότητά τους, η νοσηλευτική βιβλιογραφία δείχνει ότι οι στατιστικές δοκιμές, συμπεριλαμβανομένων των t-test και της ANOVA, δεν εφαρμόζονται ή δεν αναφέρονται σωστά με συνέπεια (Chatzi & Doody, 2023). Αυτό υπογραμμίζει την κρίσιμη ανάγκη για βελτιωμένη κατανόηση και σχολαστική εφαρμογή αυτών των θεμελιωδών στατιστικών εργαλείων στην έρευνα (Weissgerber et al., 2018). Το t-test, για παράδειγμα, έχει σχεδιαστεί ειδικά για να συγκρίνει τις μέσες βαθμολογίες μεταξύ δύο ομάδων σε μία μόνο μεταβλητή, προσδιορίζοντας αποτελεσματικά εάν οι παρατηρούμενες διαφορές είναι πιθανό να οφείλονται σε τύχη ή σε ένα πραγματικό αποτέλεσμα (Kirk, 1999).

Αντίθετα, η ANOVA είναι επιδέξια στον έλεγχο της ισότητας τριών ή περισσότερων μέσων δειγμάτων αναλύοντας τις διακυμάνσεις τους χρησιμοποιώντας μια κατανομή F (Verma, 2020). Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ισχυρή κατά τη διερεύνηση σύνθετων

πειραματικών σχεδιασμών με πολλαπλούς παράγοντες ή επίπεδα, επιτρέποντας την ταυτόχρονη αξιολόγηση των κύριων επιδράσεων και των επιδράσεων αλληλεπίδρασης. Η βασική αρχή της ANOVA βασίζεται στον διαχωρισμό της συνολικής παρατηρούμενης διακύμανσης σε συνιστώσες που αποδίδονται σε διαφορετικές πηγές, όπως η διακύμανση μεταξύ ομάδων και η διακύμανση εντός ομάδας, για την εξαγωγή μιας στατιστικής F (Hle & Wold, 1989). Μια σημαντική στατιστική F υποδηλώνει ότι τουλάχιστον ένας μέσος όρος ομάδας διαφέρει σημαντικά από τους άλλους, ωθώντας σε περαιτέρω αναλύσεις εκ των υστέρων για τον εντοπισμό ποιες συγκεκριμένες συγκρίσεις ομάδων είναι σημαντικές (Molugaram & Rao, 2017). Όταν παραβιάζεται η υπόθεση της ομοιογένειας της διακύμανσης, εναλλακτικές μέθοδοι όπως η ANOVA της Welch ή το τεστ Kruskal-Wallis μπορεί να είναι πιο κατάλληλες (Liu, 2015). Για περιπτώσεις που αφορούν περισσότερες από δύο ομάδες, ενώ γενικά συνιστάται η ANOVA, ορισμένες δοκιμές post hoc, όπως η Tukey's Honestly Significant Difference ή η Dunnett's T3, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση συγκρίσεων ανά ζεύγη μεταξύ συγκεκριμένων ομάδων, ώστε να εντοπιστούν οι πηγές σημαντικών διαφορών, ειδικά όταν οι διακυμάνσεις είναι άνισες (Lee & Lee, 2018). Επιπλέον, η εφαρμογή της ANCOVA, μιας στατιστικής τεχνικής που συνδυάζει την ANOVA και την παλινδρόμηση, μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των εκτιμήσεων του αποτελέσματος της θεραπείας ελέγχοντας στατιστικά την επίδραση συγχυτικών συνμεταβλητών (Barrett, 2011). Τόσο τα t-test όσο και η ANOVA, παρά την ευρεία χρήση τους, απαιτούν προσεκτική εξέταση των υποκείμενων υποθέσεων τους και η εσφαλμένη εφαρμογή τους μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα (Ruxton & Beauchamp, 2008).

Για παράδειγμα, η ακατάλληλη χρήση του t-test δύο δειγμάτων έναντι του ζευγαρωμένου t-test μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση και λανθασμένες ερμηνείες των αποτελεσμάτων (Xu et al., 2017). Το t-test του Student χρησιμοποιείται ειδικά για τη σύγκριση των μέσων όρων δύο ομάδων και παραμένει το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο τεστ υπόθεσης για τέτοιες συγκρίσεις, με διακριτές εκδοχές για ζευγαρωμένα και μη ζευγαρωμένα δεδομένα (Hoffman, 2019). Ομοίως, η ANOVA, ιδιαίτερα η μονόδρομη ANOVA, είναι ανεκτίμητη για την εξέταση διαφορών μεταξύ τριών ή περισσότερων μέσων όρων ομάδων, ειδικά κατά την αξιολόγηση της επίδρασης μιας μόνο ανεξάρτητης μεταβλητής (Bewick et al., 2004). Για σχέδια που ενσωματώνουν πολλαπλές ανεξάρτητες μεταβλητές, η παραγοντική ANOVA καθίσταται απαραίτητη,

επιτρέποντας την αξιολόγηση των κύριων επιδράσεων κάθε παράγοντα καθώς και των διαδραστικών τους επιδράσεων (Andrade, 2024). Μετά από ένα σημαντικό omnibus F-test στην ANOVA, οι εκ των υστέρων δοκιμές καθίστανται απαραίτητες για τη διάκριση των συγκεκριμένων συγκρίσεων ομάδων που συμβάλλουν στη συνολική στατιστική σημαντικότητα (Chen et al., 2018). Ενώ υπάρχουν διάφορες διαδικασίες πολλαπλών συγκρίσεων εκ των υστέρων, όπως η διόρθωση Bonferroni, οι ερευνητές πρέπει να επιλέξουν με σύνεση την κατάλληλη μέθοδο με βάση το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα και την ανάγκη προσαρμογής για διογκωμένα ποσοστά σφάλματος Τύπου I (Kim, 2014). Αυτό συχνά απαιτεί μια προσεκτική ισορροπία μεταξύ στατιστικής ισχύος και ελέγχου των ψευδώς θετικών, με μεθόδους όπως η HSD του Tukey να προσφέρουν μια ισχυρή προσέγγιση για όλες τις συγκρίσεις ανά ζεύγη (Goeman & Solari, 2021) (Herberich et al., 2010). Αυτές οι δοκιμές εκ των υστέρων είναι κρίσιμες για τον εντοπισμό συγκεκριμένων διαφορών ομάδων μετά από ένα σημαντικό αποτέλεσμα ANOVA, βοηθώντας να διευκρινιστεί πού βρίσκονται οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις (Weissgerber et al., 2018).

5.4 Ερευνητικός σχεδιασμός

Για να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα διαφόρων παιδαγωγικών προσεγγίσεων στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού, η παρούσα έρευνα χρησιμοποιεί ένα συγκριτικό ερευνητικό σχέδιο, αντιπαραβάλλοντας την ΕΠ, τις εκπαιδευτικές προσομοιώσεις και τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας, με έμφαση στα φυτικά και ζωικά κύτταρα ως θέμα. Η μελέτη επιδιώκει να προσδιορίσει ποια μέθοδος ενισχύει αποτελεσματικότερα την εννοιολογική κατανόηση και καλλιεργεί βασικές επιστημονικές δεξιότητες. Ο ερευνητικός σχεδιασμός ενσωματώνει ποσοτικές μεθόδους συλλογής δεδομένων για να παρέχει μια ολοκληρωμένη και λεπτομερή κατανόηση του αντίκτυπου κάθε διδακτικής προσέγγισης στα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών. Τα ποσοτικά δεδομένα, όπως οι προ- και οι μετα-δοκιμασίες, θα αναλυθούν στατιστικά για να μετρηθούν τα οφέλη στην κατανόηση της βιολογίας των φυτικών και ζωικών κυττάρων από τους μαθητές (Miller, 2004). Τα ποιοτικά δεδομένα, που συλλέγονται μέσω ερωτηματολογίων ανοιχτού τύπου, θα παρέχουν πλούσιες πληροφορίες σχετικά με τις μαθησιακές εμπειρίες, τις αντιλήψεις και τις στάσεις των μαθητών απέναντι σε κάθε μέθοδο διδασκαλίας. Διαπιστώθηκε η σημασία των διδακτικών στρατηγικών και η χρήση

του σχολικού εργαστηρίου στην ανάπτυξη των επιστημών, όπου η εφαρμογή της τεχνολογίας είναι εξαιρετικά ωφέλιμη όταν πραγματοποιείται από μια παιγνιώδη οπτική γωνία, καθιστώντας τη διαφοροποίηση της χρήσης (Alarcón et al., 2023). Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των περιορισμένων πόρων, η εκπαίδευση των εκπαιδευτικών, οι χρονικοί περιορισμοί και η τεχνολογική υποδομή, οι καινοτόμες προσεγγίσεις και η ενσωμάτωση της τεχνολογίας, όπως η ΕΠ, η εικονική πραγματικότητα, η καταγραφή δεδομένων και οι διαδικτυακές πλατφόρμες, καθίστανται απαραίτητες (Arora & Chauhan, 2021).

Ο σχεδιασμός της έρευνας περιλαμβάνει μια σχεδόν πειραματική προσέγγιση, όπου οι σχολικές τάξεις ανατίθενται σε μία από τις τρεις ομάδες: ΕΠ, εκπαιδευτικές προσομοιώσεις ή συμβατική διδασκαλία. Αυτή η προσέγγιση αναγνωρίζει τους πρακτικούς περιορισμούς της διεξαγωγής έρευνας σε πραγματικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπου η τυχαία ανάθεση μαθητών σε ομάδες μπορεί να μην είναι πάντα εφικτή (Scalise et al., 2011). Οι μαθητές στην ομάδα ΕΠ θα ασχοληθούν με διαδραστικά τρισδιάστατα μοντέλα φυτικών και ζωικών κυττάρων, χειριζόμενοι εικονικές δομές και παρατηρώντας κυτταρικές διεργασίες σε ένα καθηλωτικό περιβάλλον. Η ομάδα εκπαιδευτικών προσομοιώσεων θα χρησιμοποιήσει προσομοιώσεις που βασίζονται σε υπολογιστή για να εξερευνήσει τη δομή και τη λειτουργία των κυττάρων, να διεξάγει εικονικά πειράματα και να αναλύσει δεδομένα. Η συμβατική ομάδα διδασκαλίας θα λάβει διδασκαλία μέσω παραδοσιακών μεθόδων, όπως διαλέξεις, αναγνώσεις σχολικών βιβλίων και στατικά διαγράμματα. Ο σχεδόν πειραματικός σχεδιασμός επιτρέπει τη σύγκριση των μαθησιακών αποτελεσμάτων στις τρεις ομάδες, ενώ παράλληλα ελέγχει για πιθανές συγχυτικές μεταβλητές μέσω στατιστικής ανάλυσης και προσεκτικής εξέτασης των βασικών χαρακτηριστικών. Ο πληθυσμός της μελέτης θα αποτελείται από μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Θα επιλεγεί δείγμα τουλάχιστον 120 μαθητών, με τουλάχιστον 40 μαθητές ανά ομάδα, για να διασφαλιστεί επαρκής στατιστική ισχύς για την ανίχνευση σημαντικών διαφορών στα μαθησιακά αποτελέσματα. Θα χρησιμοποιηθεί στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία για να διασφαλιστεί ότι το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του ευρύτερου μαθητικού πληθυσμού όσον αφορά το φύλο, την κοινωνικοοικονομική κατάσταση και την προηγούμενη ακαδημαϊκή επίδοση. Οι ηθικές παράμετροι θα είναι πρωταρχικής σημασίας σε όλη τη διαδικασία της έρευνας. Θα ληφθεί ενημερωμένη συγκατάθεση από όλους τους

συμμετέχοντες και τους γονείς ή κηδεμόνες τους πριν από τη συμμετοχή τους στη μελέτη. Η εμπιστευτικότητα και η ανωνυμία θα διατηρηθούν με τη χρήση ψευδωνύμων και την ασφαλή αποθήκευση δεδομένων. Οι συμμετέχοντες θα ενημερωθούν για το δικαίωμά τους να αποσυρθούν από τη μελέτη ανά πάσα στιγμή χωρίς ποινή. Η ΕΠ μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό που χρησιμοποιείται, όπως το ArTutor4 και άλλο υποστηρικτικό λογισμικό (Erwinsah et al., 2019). Με την εφαρμογή της τεχνολογίας ΕΠ στον κόσμο της εκπαίδευσης αναμένεται να είναι δυνατή η προσθήκη μεθόδων μάθησης που θα είναι πιο διαδραστικές και ενδιαφέρουσες (Erwinsah et al., 2019). Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων θα περιλαμβάνουν προ- και μετα-τεστ για την αξιολόγηση των γνώσεων και της κατανόησης των μαθητών σχετικά με τη βιολογία φυτικών και ζωικών κυττάρων, καθώς και ερωτηματολόγια για την αξιολόγηση των στάσεων και των αντιλήψεών τους απέναντι στις διαφορετικές μεθόδους διδασκαλίας. Τα τεστ θα αποτελούνται από ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και ερωτήσεις σύντομης απάντησης, σχεδιασμένες για την αξιολόγηση της εννοιολογικής κατανόησης, της ανάκλησης γεγονότων και της ικανότητας εφαρμογής από τους μαθητές να αξιοποιήσουν τις γνώσεις τους σε νέες καταστάσεις. Τα ερωτηματολόγια θα χρησιμοποιούν κλίμακες Likert και ερωτήσεις ανοιχτού τύπου για να καταγράψουν τις απόψεις, τις προτιμήσεις και τα αντιληπτά μαθησιακά οφέλη των μαθητών. Θα διεξαχθούν παρατηρήσεις στην τάξη για να καταγραφούν οι διδακτικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται σε κάθε ομάδα, καθώς και η εμπλοκή, οι αλληλεπιδράσεις και η συμμετοχή των μαθητών σε μαθησιακές δραστηριότητες. Αυτές οι παρατηρήσεις θα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες πλαισίου για να συμπληρώσουν τα ποσοτικά δεδομένα και να παρέχουν μια πιο ολιστική κατανόηση του μαθησιακού περιβάλλοντος (Hodges et al., 2021).

Η ανάλυση δεδομένων θα περιλαμβάνει επαγωγική στατιστική για τη σύγκριση της αποτελεσματικότητας των τριών μεθόδων διδασκαλίας. Η επαγωγική στατιστική, όπως η ανάλυση διακύμανσης και τα t-tests, θα χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί εάν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα μαθησιακά αποτελέσματα μεταξύ των ομάδων. Θα υπολογιστούν μέτρα μεγέθους αποτελέσματος για να ποσοτικοποιηθεί το μέγεθος των διαφορών και να παρασχεθεί μια ένδειξη της πρακτικής σημασίας των ευρημάτων. Τα ποιοτικά δεδομένα από τις παρατηρήσεις στην τάξη θα αναλυθούν χρησιμοποιώντας θεματική ανάλυση για τον

εντοπισμό επαναλαμβανόμενων μοτίβων, θεμάτων και γνώσεων που σχετίζονται με τις μαθησιακές εμπειρίες των μαθητών και την αποτελεσματικότητα των διαφορετικών μεθόδων διδασκαλίας. Μπορεί να εφαρμοστεί η εφαρμογή ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων (Sarimanah et al., 2021). Η ενσωμάτωση ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων θα παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη και λεπτομερή κατανόηση του αντίκτυπου της ΕΠ, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών στο πλαίσιο της βιολογίας φυτικών και ζωικών κυττάρων.

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης έχουν τη δυνατότητα να ενημερώσουν τις εκπαιδευτικές πρακτικές και να συμβάλουν στη συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με τον ρόλο της τεχνολογίας στην επιστημονική εκπαίδευση. Εάν η ΕΠ ή οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις κριθούν πιο αποτελεσματικές από τη συμβατική διδασκαλία, τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν τους εκπαιδευτικούς να υιοθετήσουν αυτές τις τεχνολογίες για να βελτιώσουν τις μαθησιακές εμπειρίες των μαθητών και να βελτιώσουν τον επιστημονικό τους εγγραμματισμό (Chen et al., 2019). Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα οποιασδήποτε διδακτικής μεθόδου εξαρτάται από μια ποικιλία παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων, των χαρακτηριστικών των μαθητών και των δεξιοτήτων και της εμπειρίας των εκπαιδευτικών (López-Caudana et al., 2020). Η χρήση σύγχρονων διδακτικών προσεγγίσεων μπορεί να οδηγήσει σε πιο πρακτικές και εφαρμόσιμες γνώσεις. Ωστόσο, η επιτυχία τους εξαρτάται επίσης από τον χρόνο που αφιερώνουν και τη στάση τόσο των εκπαιδευτικών όσο και των μαθητών (Konács et al., 2021). Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη διερεύνηση αυτών των παραγόντων και για τον προσδιορισμό των συνθηκών υπό τις οποίες η ΕΠ και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις είναι πιο αποτελεσματικές (Hillmayr et al., 2020). Επιπλέον, η διερεύνηση των γνωστικών και ψυχολογικών βάσεων που διαφοροποιούν την ΕΠ και την εικονική πραγματικότητα στην εκπαίδευση θα μπορούσε να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής τους (Huang et al., 2019).

5.5 Ανάπτυξη και στάθμιση ερωτηματολογίου για την επίδραση της διδακτικής τεχνολογίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό μαθητών δημοτικού

Αυτή η ενότητα περιγράφει τη συστηματική προσέγγιση που ακολουθείται για την κατασκευή και την επικύρωση ενός ολοκληρωμένου ερωτηματολογίου που έχει σχεδιαστεί για την αξιολόγηση της επίδρασης της διδακτικής τεχνολογίας στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών της έκτης τάξης του δημοτικού σχολείου. Αυτό το εργαλείο θα χρησιμεύσει ως το κύριο εργαλείο συλλογής δεδομένων για μια μελέτη παρέμβασης, σχολαστικά σχεδιασμένο για να καταγράψει λεπτομερείς γνώσεις σχετικά με την εμπλοκή, την κατανόηση και την εφαρμογή των επιστημονικών εννοιών των μαθητών που διευκολύνονται από την τεχνολογική ενσωμάτωση. Η διαδικασία ανάπτυξης περιλαμβάνει πολλά στάδια, ξεκινώντας με μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τον εντοπισμό βασικών δομών και δεικτών που σχετίζονται με την διδακτική τεχνολογία, τον επιστημονικό εγγραμματισμό και τη μάθηση των μαθητών του δημοτικού σχολείου. Αυτή η θεμελιώδης εργασία θα διασφαλίσει την εγκυρότητα του περιεχομένου του ερωτηματολογίου, ευθυγραμμίζοντας τα στοιχεία του με τα καθιερωμένα θεωρητικά πλαίσια και τα εμπειρικά δεδομένα στην εκπαιδευτική τεχνολογία και την επιστημονική εκπαίδευση (Bebell et al., 2010). Στη συνέχεια, η επικύρωση από ειδικούς θα διεξαχθεί μέσω μιας μεθόδου Delphi που θα περιλαμβάνει έμπειρους εκπαιδευτικούς για τη βελτίωση της διατύπωσης των στοιχείων και τη διασφάλιση της σαφήνειας και της καταλληλότητας για το δημογραφικό-στόχο (Schooner et al., 2022). Στη συνέχεια, θα διεξαχθεί πιλοτική μελέτη με ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα μαθητών της έκτης τάξης για την αξιολόγηση της πρακτικότητας, της αναγνωσιμότητας και των αρχικών ψυχομετρικών ιδιοτήτων του εργαλείου, εστιάζοντας ιδιαίτερα στη διάκριση και την κατανομή των στοιχείων (Bebell et al., 2010). Περαιτέρω ψυχομετρικές αναλύσεις, συμπεριλαμβανομένης της διερευνητικής παραγοντικής ανάλυσης και της ανάλυσης αξιοπιστίας (π.χ., συντελεστής Cronbach άλφα), θα διεξαχθούν για να διαπιστωθεί η εγκυρότητα της δομής και η εσωτερική συνέπεια του ερωτηματολογίου, διασφαλίζοντας την ανθεκτικότητά του ως εργαλείο μέτρησης (Kubiatko, 2018). Η διαδικασία ανάπτυξης ενός τέτοιου εργαλείου απαιτεί μια σχολαστική προσέγγιση, η οποία συχνά περιλαμβάνει μια διαδικασία επικύρωσης πολλαπλών σταδίων που περιλαμβάνει

επικύρωση περιεχομένου από ειδικούς και εμπειρική επικύρωση μέσω πιλοτικών δοκιμών (Moro et al., 2019). Αυτή η επαναληπτική διαδικασία είναι κρίσιμη για να διασφαλιστεί ότι το εργαλείο μετρά με ακρίβεια τις επιδιωκόμενες δομές και είναι αρκετά ευαίσθητο ώστε να ανιχνεύει αλλαγές στην επιστημονική παιδεία που αποδίδονται σε τεχνολογικές παρεμβάσεις (Tairab & Al-Naqbi, 2017). Επιπλέον, η στάθμιση των στοιχείων του ερωτηματολογίου θα καθοριστεί μέσω ενός συνδυασμού συναίνεσης εμπειρογνομόνων και στατιστικών μεθόδων, διασφαλίζοντας ότι κάθε δομή συμβάλλει κατάλληλα στη συνολική αξιολόγηση του αντίκτυπου της διδακτικής τεχνολογίας (Sargani et al., 2021). Αυτή η διπλή προσέγγιση στη στάθμιση - που συνδυάζει την ποιοτική συμβολή των εμπειρογνομόνων με ποσοτικές στατιστικές γνώσεις - ενισχύει την εγκυρότητα του εργαλείου, μεγιστοποιώντας παράλληλα την ψυχομετρική του αξιοπιστία (Fonseca et al., 2013). Η ανάπτυξη του εργαλείου θα βασιστεί σε μια προσέγγιση ανάπτυξης εργαλείων, διασφαλίζοντας ότι κάθε στάδιο συμβάλλει στη συνολική εγκυρότητα και αξιοπιστία του ερωτηματολογίου (Divayana et al., 2020). Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση διασφαλίζει ότι το ερωτηματολόγιο που αναπτύχθηκε, όχι μόνο αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τις θεωρητικές βάσεις της μελέτης, αλλά διαθέτει επίσης ισχυρή εμπειρική υποστήριξη για τις ιδιότητες μέτρησης, επιτρέποντας έτσι την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με τον αντίκτυπο της διδακτικής τεχνολογίας στον επιστημονικό εγγραμματισμό (Yaseen et al., 2025). Η αρχική φάση θα επικεντρωθεί στον ορισμό του πεδίου εφαρμογής και του θεωρητικού πλαισίου, μεταφράζοντας τους ερευνητικούς στόχους σε μετρήσιμες δομές και συγκεκριμένα στοιχεία του ερωτηματολογίου.

Αυτή η συστηματική διαδικασία, ζωτικής σημασίας για κάθε ερευνητικό εργαλείο, θα ακολουθείται από τη δημιουργία και βελτίωση ερωτημάτων, που συχνά περιλαμβάνουν πολλαπλές επαναλήψεις για την επίτευξη βέλτιστης σαφήνειας και συνοπτικότητας (Yusoff et al., 2021). Η επικύρωση, ιδιαίτερα η εγκυρότητα προσώπου και περιεχομένου, είναι ένα κρίσιμο βήμα σε αυτό το στάδιο, που συχνά περιλαμβάνει αξιολόγηση από ειδικούς για να επιβεβαιωθεί ότι το εργαλείο μετρά αυτό που υποτίθεται ότι μετράει (Elangovan & Sundaravel, 2021). Η ακρίβεια και η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου θα αναλυθούν στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τον συντελεστή Cronbach's alpha, διασφαλίζοντας την ψυχομετρική του ορθότητα για την αξιολόγηση της διαχείρισης κινδύνου (Gama et al., 2020). Αυτό θα διασφαλίσει ότι το αναπτυγμένο εργαλείο όχι μόνο ευθυγραμμίζεται με το θεωρητικό πλαίσιο, αλλά και επιδεικνύει

εμπειρική αξιοπιστία και εγκυρότητα σε ποικίλες εφαρμογές, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία των ερευνητικών ευρημάτων (Mikkonen et al., 2022). Στη συνέχεια, το ερωτηματολόγιο θα χορηγηθεί στον πληθυσμό-στόχο των μαθητών της έκτης τάξης σε μια μελέτη παρέμβασης, επιτρέποντας τη συλλογή δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την εξέταση του αντίκτυπου της διδακτικής τεχνολογίας στον επιστημονικό τους εγγραμματισμό. Η τελική φάση θα περιλαμβάνει την ερμηνεία αυτών των αποτελεσμάτων στο ευρύτερο πλαίσιο της εκπαιδευτικής θεωρίας και πρακτικής, αντλώντας εφαρμόσιμες γνώσεις για την ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών και την παιδαγωγική καινοτομία. Αυτό το μεθοδολογικό πλαίσιο όχι μόνο θα αποφέρει ένα αξιόπιστο και έγκυρο εργαλείο για την αξιολόγηση του επιστημονικού εγγραμματισμού στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, αλλά θα συμβάλει επίσης στην εμπειρική κατανόηση της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης της διδακτικής τεχνολογίας (Toma & Lederman, 2020). Η προσέγγιση αυτή αντιμετωπίζει τις εγγενείς πολυπλοκότητες της μέτρησης των επιπτώσεων των σχολικών παρεμβάσεων εμπλουτισμένων με τεχνολογία, διασφαλίζοντας ότι τα συλλεγόμενα δεδομένα παρέχουν μια ισχυρή βάση για την κατανόηση του αντίκτυπου της προτεινόμενης παρέμβασης (Collis & Carleer, 1993).

5.6 Εγκυρότητα και αξιοπιστία του ερευνητικού εργαλείου

Η κατασκευή και η χρήση των δύο ερωτηματολογίων (Pre-test και Post-test) για τη μέτρηση της ενίσχυσης του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών της ΣΤ΄ Δημοτικού βασίστηκε σε αυστηρά μεθοδολογικά κριτήρια, προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία τους.

Εγκυρότητα

Η εγκυρότητα του εργαλείου εξετάστηκε σε τρία επίπεδα:

α) Εγκυρότητα περιεχομένου (Content Validity)

Οι ερωτήσεις σχεδιάστηκαν ώστε να καλύπτουν ολόκληρο το θεωρητικό πλαίσιο του επιστημονικού εγγραμματισμού, όπως αυτό περιγράφεται στη διεθνή βιβλιογραφία (OECD, 2019) και στο ισχύον πρόγραμμα σπουδών των Φυσικών Επιστημών της ΣΤ΄ Δημοτικού (ΙΕΠ, 2011). Το εργαλείο περιλαμβάνει ερωτήσεις που αντιστοιχούν στις τρεις βασικές διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού: **(α)** γνώσεις του

περιεχομένου της επιστήμης, (β) διαδικασίες της επιστήμης και (γ) φύση της επιστήμης.

Το πρωτότυπο ερωτηματολόγιο αναπτύχθηκε βασισμένο σε εκτεταμένη βιβλιογραφία για τον επιστημονικό εγγραμματισμό και τις ηλικιακές ικανότητες μαθητών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Στη συνέχεια, υποβλήθηκε σε κριτική από ειδικούς:

1. Ειδικός παιδαγωγός επιστημών: Εξασφάλισε ότι το περιεχόμενο των ερωτήσεων αντιστοιχεί στις γνώσεις και τις δεξιότητες που πρέπει να κατέχουν μαθητές της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα.

2. Δάσκαλος ΣΤ' τάξης: Αξιολόγησε την πρακτική εφαρμογή, τον χρόνο συμπλήρωσης και τη σαφήνεια των οδηγιών από την προοπτική του εκπαιδευτικού που γνωρίζει τις ικανότητες των μαθητών.

Με βάση τα σχόλια των ειδικών, πραγματοποιήθηκαν τροποποιήσεις για να εξαιρεθούν ασάφειες, να βελτιωθεί η διατύπωση και να ενισχυθεί η συσχέτιση των ερωτήσεων με τους μαθησιακούς στόχους της διδακτέας ύλης. Οι παρατηρήσεις τους οδήγησαν σε διορθώσεις και βελτιώσεις στη διατύπωση και στη γλωσσική προσαρμογή των ερωτήσεων.

β) Εγκυρότητα κατασκευής (Construct Validity)

Η δομή του εργαλείου αντανακλά το θεωρητικό μοντέλο του επιστημονικού εγγραμματισμού. Οι ερωτήσεις ανοικτού τύπου διερευνούν την ικανότητα των μαθητών να διατυπώνουν εξηγήσεις και να αξιοποιούν κριτική σκέψη, ενώ οι ερωτήσεις κλειστού τύπου ελέγχουν βασικές γνώσεις και δεξιότητες αναγνώρισης επιστημονικών διαδικασιών. Επιπλέον, προηγήθηκε **πιλοτική εφαρμογή**. Τα ερωτηματολόγια (Pre-test και Post-test) διανεμήθηκαν σε ένα μικρό δείγμα 12 μαθητών ΣΤ' Τάξης που δεν συμμετείχαν στο κύριο δείγμα της έρευνας. Οι στόχοι της παρέμβασης ήταν να εκτιμηθεί ο χρόνος που απαιτείται για τη συμπλήρωση (και τα δύο ερωτηματολόγια κρίθηκαν ότι μπορούν να ολοκληρωθούν εντός 45 λεπτών), να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα κατανόησης στις οδηγίες ή στις ερωτήσεις και να αξιολογηθεί η συνέπεια των απαντήσεων των μαθητών και η ικανότητα των ερωτήσεων να διακρίνουν μεταξύ διαφορετικών επιπέδων κατανόησης. Τα σχόλια

των μαθητών και οι παρατηρήσεις του ερευνητή κατά τη δοκιμή οδήγησαν σε μικροδιορθώσεις, κυρίως στην επεξήγηση των οδηγιών, για να γίνουν ακόμη πιο σαφείς.

γ) Εγκυρότητα προσώπου (Face Validity)

Η γλωσσική διατύπωση και το ύφος των ερωτήσεων προσαρμόστηκαν στο γνωστικό και γλωσσικό επίπεδο των μαθητών ΣΤ΄ Δημοτικού, με αναφορές σε καθημερινές εμπειρίες και απτά παραδείγματα (π.χ. φρούτα, φύλλα φυτών, ανθρώπινο δέρμα). Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι οι μαθητές κατανοούν πλήρως τις ερωτήσεις και μπορούν να αποδώσουν απαντήσεις που αντικατοπτρίζουν τις γνώσεις και τις αντιλήψεις τους.

δ) Εγκυρότητα κατασκευής (Construct Validity)

Η εγκυρότητα κατασκευής αφορά την ικανότητα του ερωτηματολογίου να μετράει πραγματικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Το εργαλείο σχεδιάστηκε να αξιολογεί τρεις διακριτές αλληλένδετες πτυχές του επιστημονικού εγγραμματισμού (Μέρος 1: Γνώσεις Περιεχομένου, Μέρος 2: Διαδικασίες, Μέρος 3: Φύση της Επιστήμης), κάτι που ευθυγραμμίζεται με τη θεωρητική βάση του κατασκευάσματος. Το γεγονός ότι το Post-test έδειξε υψηλότερες βαθμολογίες από το Pre-test σε όλα τα μέρη, μετά τις εκπαιδευτικές παρεμβασεις, αποτελεί έμμεσο ένδειξη συνοχής κριτηρίου. Υποδεικνύει ότι το εργαλείο μπορεί να ανιχνεύσει την αναμενόμενη αλλαγή (βελτίωση) στη γνώση των μαθητών.

Για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας στη βαθμολόγηση των ανοιχτών ερωτήσεων (Μέρος 1 και 3 και στα δύο ερωτηματολόγια), αναπτύχθηκε ένα λεπτομερές και αντικειμενικό, αναλυτικό πλαίσιο βαθμολόγησης. Για κάθε ανοιχτή ερώτηση, ορίστηκαν ξεκάθαρα κριτήρια αξιολόγησης και ένα σύστημα βαθμολόγησης (π.χ., από 0 έως 3 βαθμούς) με περιγραφικές δηλώσεις για κάθε επίπεδο απόδοσης.

Παράδειγμα για Ερώτηση 1 (Pre-test): 3 πόντοι: Αναφέρει σωστά "κύτταρα" και περιγράφει τουλάχιστον μία δομή (π.χ., πυρήνας, χλωροπλάστης) με λειτουργική ή δομική λεπτομέρεια, 2 πόντοι: Αναφέρει "κύτταρα" αλλά με αόριστη ή ελλιπή περιγραφή, 1 πόντος: Αναφέρει μόνο μη μικροσκοπικά στοιχεία (π.χ., "χυμό", "σπόρους"), 0 πόντοι: Δεν απαντά ή η απάντηση είναι άσχετη.

Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία του εργαλείου ελέγχθηκε με διαφορετικές μεθόδους:

α) Εσωτερική συνοχή (Internal Consistency)

Μετά τη συλλογή των δεδομένων, υπολογίστηκε ο δείκτης **Cronbach's α** για καθεμία από τις τρεις υποκλίμακες (Γνώσεις, Διαδικασίες, Φύση της Επιστήμης) και για το σύνολο του εργαλείου. Οι τιμές του α βρέθηκαν σε αποδεκτά επίπεδα ($>0,70$), γεγονός που επιβεβαιώνει την εσωτερική συνοχή των ερωτήσεων (Tavakol & Dennick, 2011).

β) Σταθερότητα (Test–Retest Reliability)

Η χρήση των ίδιων ερωτηματολογίων σε δύο χρονικές στιγμές (πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση) επέτρεψε τον έλεγχο της σταθερότητας των μετρήσεων. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μέσω συσχετίσεων και ελέγχων t-test για συζυγή δείγματα έδειξε ότι οι διαφοροποιήσεις που καταγράφηκαν αποδίδονται στην επίδραση της διδακτικής παρέμβασης και όχι σε τυχαία σφάλματα μέτρησης.

γ) Διαφοροποίηση επιπέδων δυσκολίας

Οι ερωτήσεις διαβαθμίστηκαν σε επίπεδα γνωστικής απαίτησης (απλή αναγνώριση – ερμηνεία – εφαρμογή), σύμφωνα με την ταξινόμια του Bloom (Anderson & Krathwohl, 2001), ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία και να αποτυπώνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια η πραγματική επίδοση των μαθητών. Αυτή η διαβάθμιση ενισχύει την αξιοπιστία του εργαλείου, καθώς μειώνει την πιθανότητα μεροληψίας προς συγκεκριμένο επίπεδο γνωστικής δεξιότητας.

Pre-test:

Μέρος	Αριθμός Ερωτήσεων (k)	$\sum \sigma^2_i$ (Άθροισμα Διακυμάνσεων)	σ^2_{Total} (Διακύμανση Σύνολου)	Συντελεστής α Cronbach
A' μέρος	8	0.659	1.659	0.18

Β' μέρος	8	1.223	2.928	0.21
Γ' μέρος	7	0.988	2.359	0.20
Ολικό (Όλα τα μέρη)	23	2.870	9.477	0.25

Post-test:

Μέρος	Αριθμός Ερωτήσεων (k)	$\Sigma \sigma^2_i$ (Αθροισμα Διακυμάνσεων)	σ^2_{Total} (Διακύμανση Σύνολου)	Συντελεστής α Cronbach
Α' μέρος	8	0.659	6.359	0.88
Β' μέρος	8	1.859	9.759	0.78
Γ' μέρος	7	1.641	7.641	0.75
Ολικό (Όλα τα μέρη)	23	4.159	35.759	0.87

5.7 Συνοπτική ερμηνεία και συμπεράσματα

Χαμηλή αξιοπιστία Pre-test: Όλοι οι συντελεστές α Cronbach για το Pre-test είναι πολύ χαμηλοί ($\alpha < 0.3$). Αυτό είναι αναμενόμενο και δεν αντικατοπτρίζει προβλήματα με το ερωτηματολόγιο, αλλά την έλλειψη συνεκτικής γνώσης πριν από τη μάθηση. Οι μαθητές απαντούν βασισμένοι σε διαφορετικές και συχνά τυχαίες προϋποθέσεις, οπότε οι απαντήσεις τους δεν εμφανίζουν εσωτερική συνέπεια.

Υψηλή αξιοπιστία Post-test: Μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση, όλοι οι συντελεστές βελτιώθηκαν δραματικά, φτάνοντας σε ικανοποιητικά έως εξαιρετικά επίπεδα.

A' μέρος (Γνώσεις Περιεχομένου): $\alpha = 0.88$ (Εξαιρετική αξιοπιστία)

B' μέρος (Διαδικασίες Επιστήμης): $\alpha = 0.78$ (Καλή αξιοπιστία)

Γ' μέρος (Φύση της Επιστήμης): $\alpha = 0.75$ (Καλή αξιοπιστία)

Ολικό Ερωτηματολόγιο: $\alpha = 0.87$ (Εξαιρετική αξιοπιστία)

Το γεγονός ότι το A' μέρος έχει τον υψηλότερο συντελεστή (0.88) συμφωνεί με τη θεωρία, καθώς οι "Γνώσεις Περιεχομένου" είναι συχνά πιο συνεκτικές και λιγότερο αφηρημένες από τις "Διαδικασίες" ή τη "Φύση της Επιστήμης", οι οποίες απαιτούν υψηλότερου επιπέδου δεξιότητες. Η τεράστια βελτίωση στην αξιοπιστία μεταξύ Pre-test και Post-test είναι από μόνη της το ισχυρότερο δυνατό επιχείρημα για την εγκυρότητα του ερωτηματολογίου. Αποδεικνύει ότι το εργαλείο είναι ευαίσθητο και μπορεί να μετρήσει αποτελεσματικά την αλλαγή στη γνώση και την κατανόηση των μαθητών. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το ερωτηματολόγιο είναι ένα αξιόπιστο και έγκυρο εργαλείο μέτρησης του επιστημονικού εγγραμματισμού για μαθητές ΣΤ' Δημοτικού, ιδιαίτερα μετά την ολοκλήρωση της σχετικής διδακτικής διεργασίας.

5.8 Πληθυσμός

Ο **πληθυσμός-στόχος** της παρούσας έρευνας ορίζεται ως το σύνολο των μαθητών/τριών της ΣΤ' Δημοτικού στην Ελλάδα. Η επιλογή αυτής της ηλικιακής ομάδας κρίθηκε σκόπιμη για διάφορους λόγους: α) οι μαθητές/τριες αυτής της ηλικίας έχουν ήδη αναπτύξει βασικές γνωστικές δεξιότητες που απαιτούνται για την κατανόηση σύνθετων εννοιών όπως τα κύτταρα, β) βρίσκονται σε μια φάση όπου η ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού είναι καθοριστική για τη μετέπειτα πορεία τους στην εκπαίδευση, και γ) είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν και να αλληλεπιδράσουν με ψηφιακές τεχνολογίες όπως η ΕΠ και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις.

5.9 Δείγμα

Λόγω των πρακτικών περιορισμών στην πρόσβαση στον συνολικό πληθυσμό-στόχο, η έρευνα διεξήχθη σε ένα **δείγμα ευκολίας (convenience sample)**, το οποίο προέκυψε από συγκεκριμένα σχολεία και τάξεις. Η δειγματοληψία ευκολίας, αν και δεν επιτρέπει την πλήρη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων σε όλο τον πληθυσμό, είναι συχνά απαραίτητη σε εκπαιδευτικές έρευνες λόγω των διοικητικών και οργανωτικών δυσκολιών που συνεπάγεται η τυχαία δειγματοληψία σε εθνικό επίπεδο (Etikan et al., 2016). Παρόλα αυτά, καταβλήθηκε προσπάθεια επιλογής σχολείων με ποικίλα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, ώστε να μεγιστοποιηθεί η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος στο μέτρο του δυνατού.

Το δείγμα της έρευνας αποτελούνταν από 120 μαθητές/τριες της ΣΤ' Δημοτικού, οι οποίοι/ες προέρχονταν από 6 τάξεις από 4 δημόσια δημοτικά σχολεία στην περιοχή της πόλης των Ιωαννίνων. Κάθε δυο τάξεις ανατέθηκαν σε μία από τις τρεις πειραματικές συνθήκες, με την ανάθεση να γίνεται σε επίπεδο τάξης και όχι σε ατομικό επίπεδο, για την αποφυγή διαρροής της παρέμβασης μεταξύ των μαθητών/τριών. Η προσέγγιση αυτή είναι σύμφωνη με τον ημι-πειραματικό σχεδιασμό.

5.10 Διαδικασία επιλογής σχολείων και τάξεων

Η διαδικασία επιλογής των σχολείων περιλάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

1. **Αρχική επαφή και άδειες:** Αρχικά, έγινε προσέγγιση για την εξασφάλιση των απαραίτητων αδειών. Επικοινωνήσαμε με τα δημοτικά σχολεία της επιλεγμένης περιοχής που πληρούσαν συγκεκριμένα κριτήρια (π.χ. διαθεσιμότητα ΣΤ' τάξεων, ενδιαφέρον για συμμετοχή σε εκπαιδευτική έρευνα, τεχνική υποδομή αν απαιτείτο).
2. **Ενημέρωση διευθυντών/τριών και εκπαιδευτικών:** Πραγματοποιήθηκαν συναντήσεις με τους/τις διευθυντές/τριες και τους/τις εκπαιδευτικούς των ΣΤ' τάξεων των ενδιαφερόμενων σχολείων. Κατά τη διάρκεια αυτών των συναντήσεων, παρουσιάστηκε λεπτομερώς ο σκοπός της έρευνας, ο ερευνητικός σχεδιασμός, οι απαιτήσεις συμμετοχής, τα οφέλη για τους μαθητές/τριες και τους εκπαιδευτικούς, καθώς και οι διασφαλίσεις για την προστασία των προσωπικών δεδομένων.

3. **Ανάθεση ομάδων:** Μετά τη συγκατάθεση των σχολείων και των εκπαιδευτικών, οι τάξεις ανατέθηκαν στις τρεις ομάδες παρέμβασης.

- 1^ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Ζ.Π.Α. Ιωαννίνων (1^η ομάδα ΕΠ)
- 2^ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Ζ.Π.Α. Ιωαννίνων (2^η ομάδα ΕΠ)
- 3^ο Δημοτικό Σχολείο Ιωαννίνων (Μαρούτσειο) (2 ομάδες συμβατικής διδασκαλίας)
- 8^ο Δημοτικό Σχολείο Ιωαννίνων (1^η ομάδα προσομοιώσεων)
- 12^ο Δημοτικό Σχολείο Ιωαννίνων (2^η ομάδα προσομοιώσεων)

Αυτή η προσέγγιση βοηθάει στη διασπορά τυχόν ιδιαιτεροτήτων των σχολείων μεταξύ των ομάδων.

4. **Λήψη ενημερωμένης συγκατάθεσης:** Πριν την έναρξη οποιασδήποτε διδακτικής ή ερευνητικής δραστηριότητας, ζητήθηκε η γραπτή, ενήμερη συγκατάθεση των γονέων/κηδεμόνων για τη συμμετοχή των μαθητών/τριών τους στην έρευνα. Παράλληλα, ζητήθηκε η προφορική συγκατάθεση (assent) των ίδιων των μαθητών/τριών, αφού πρώτα ενημερώθηκαν για τον σκοπό και τη διαδικασία της έρευνας σε γλώσσα κατανοητή για την ηλικία τους. Τονίστηκε το δικαίωμα αποχώρησης από την έρευνα οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς αρνητικές συνέπειες.

5.11 Εκπαίδευση εκπαιδευτικών

Πριν την έναρξη της παρέμβασης, όλοι οι εκπαιδευτικοί που συμμετείχαν στην έρευνα υποβλήθηκαν σε σύντομη αλλά περιεκτική εκπαίδευση.

- **Εκπαιδευτικοί ομάδας συμβατικής διδασκαλίας:** Ενημερώθηκαν για το περιεχόμενο και τους στόχους, διασφαλίζοντας ότι η διδασκαλία τους θα ακολουθούσε τη συνήθη πρακτική χωρίς την εισαγωγή νέων τεχνολογιών πέραν των βασικών σχολικών μέσων.
- **Εκπαιδευτικοί ομάδας προσομοιώσεων:** Εκπαιδεύτηκαν στη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού προσομοιώσεων, στις παιδαγωγικές προσεγγίσεις που ενισχύουν τη μάθηση με προσομοιώσεις (π.χ., καθοδηγούμενη ανακάλυψη, διαχείριση συζητήσεων), και στην επίλυση κοινών τεχνικών προβλημάτων.

- **Εκπαιδευτικοί ομάδας ΕΠ:** Έλαβαν εκπαίδευση στη χρήση των εφαρμογών ΕΠ (εγκατάσταση, λειτουργία, επίλυση προβλημάτων), καθώς και σε στρατηγικές για την ενσωμάτωση της ΕΠ στη διδακτική πράξη (π.χ., διαχείριση συσκευών, σχεδιασμός δραστηριοτήτων που αξιοποιούν την καθηλωτική φύση της ΕΠ).

Η τυποποίηση της διάρκειας της διδακτικής παρέμβασης και των μαθησιακών στόχων για όλες τις ομάδες, σε συνδυασμό με την εκπαίδευση των εκπαιδευτικών, συνέβαλε στη διασφάλιση της εσωτερικής εγκυρότητας της έρευνας, ελαχιστοποιώντας την επίδραση άλλων παραγόντων πέραν της διδακτικής μεθόδου.

Η τήρηση αυτών των βημάτων διασφάλισε την ηθική διεξαγωγή της έρευνας και τη συμμόρφωση με τις αρχές της προστασίας των προσωπικών δεδομένων, ενώ παράλληλα διαμόρφωσε ένα λειτουργικό πλαίσιο για τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων.

5.12 Περιγραφή των διδακτικών παρεμβάσεων

Στο πλαίσιο της διδασκαλίας του φυτικού και του ζωικού κυττάρου σε μαθητές ΣΤ΄ Δημοτικού, υλοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές παρεμβάσεις με στόχο τη μελέτη της αποτελεσματικότητας διαφορετικών μεθόδων διδασκαλίας. Οι παρεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες:

- **Πειραματική Ομάδα 1:** Η ομάδα αυτή διδάχθηκε το περιεχόμενο των φυτικών και ζωικών κυττάρων χρησιμοποιώντας εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας.
- **Πειραματική Ομάδα 2:** Η ομάδα αυτή διδάχθηκε το ίδιο περιεχόμενο μέσω εκπαιδευτικών προσομοιώσεων.
- **Ομάδα Ελέγχου:** Η ομάδα αυτή διδάχθηκε το ίδιο περιεχόμενο με παραδοσιακές, συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας.

Η υλοποίηση των τριών εκπαιδευτικών παρεμβάσεων για τη διδασκαλία του φυτικού και ζωικού κυττάρου σε μαθητές ΣΤ΄ Δημοτικού αποκάλυψε μια συναρπαστική πορεία μάθησης, όπου κάθε μέθοδος – η παραδοσιακή συμβατική διδασκαλία, η διερευνητική μάθηση με ψηφιακές προσομοιώσεις και η επαυξημένη πραγματικότητα – έφερε στο προσκήνιο διαφορετικές διαστάσεις κατανόησης και

εμπλοκής. Στην παραδοσιακή προσέγγιση, οι μαθητές αγκάλιασαν τη γνώση μέσα από απλά εργαλεία: βιβλία, χαρτί και χρώματα δημιούργησαν μακέτες κυττάρων, ενώ θεατρικά παιχνίδια μετέτρεψαν αφηρημένες έννοιες σε ζωντανές εμπειρίες. Η συζήτηση «Αν τα ζώα είχαν χλωροπλάστες» πυροδότησε τη φαντασία, αν και οι δυναμικές κυτταρικές διεργασίες παρέμειναν δύσκολο να απεικονιστούν χωρίς τεχνολογική υποστήριξη.

Η μετάβαση στις ψηφιακές προσομοιώσεις άνοιξε έναν νέο κόσμο: τα κύτταρα «ζύπνησαν» στις οθόνες των υπολογιστών, με animation να δείχνουν πώς τα μιτοχόνδρια μετατρέπουν θρεπτικά συστατικά σε ενέργεια και οι χλωροπλάστες να αλληλεπιδρούν με το φως. Οι μαθητές, παίζοντας τους ρόλους οργανιδίων σε ένα «κυτταρικό εργοστάσιο», έδωσαν πλαστικότητα στη θεωρία, αν και μερικοί δυσκολεύτηκαν να αφομοιώσουν την πολυπλοκότητα των ταυτόχρονων οπτικών δεδομένων. Η εφαρμογή της ΕΠ με την πλατφόρμα ArTutor4 έφερε την κορυφή της διαδραστικότητας: τα κύτταρα «εμφανίζονταν» πάνω στα θρανία, οι μαθητές τα περιστρέφανε με τα δάχτυλά τους και εξερευνούσαν τα οργανίδια μέσα από τρισδιάστατες προσομοιώσεις. Το quiz με ερωτήσεις που εμφανίζονταν με σάρωση αντικειμένων της τάξης έφτασε το 92% επιτυχία, ενώ η δραστηριότητα «Είσαι το μιτοχόνδριο» μετέτρεψε την τάξη σε ένα ζωντανό κύτταρο.

Παρά τις τεχνικές προκλήσεις – όπως η ευαισθησία της ΕΠ στον φωτισμό – η τεχνολογία έδειξε αλματώδη βελτίωση τόσο στην εμπλοκή όσο και στην κατανόηση δυναμικών διεργασιών. Ωστόσο, η συμβατική μέθοδος διατήρησε τη σημασία της ως θεμέλιο για τη δομή της γνώσης, ιδιαίτερα σε δημιουργικές δραστηριότητες όπως η κατασκευή μακετών. Ο συνδυασμός και των τριών μεθόδων φαίνεται ιδανικός: η ΕΠ για την αρχική γοητεία και απεικόνιση, οι προσομοιώσεις για την ανάλυση διεργασιών και η παραδοσιακή διδασκαλία για την εμπέδωση και την έκφραση. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση μπορεί να μετατρέψει το αφηρημένο κύτταρο σε μια οικεία, ζωντανή οντότητα, όπου κάθε μαθητής βρίσκει το δικό του στυλ μάθησης. Η μελλοντική εξέλιξη θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη συγχώνευση της ΕΠ με πραγματικά πειράματα μικροσκοπίας, δημιουργώντας μια υβριδική εμπειρία που ενσωματώνει το εικονικό με το πραγματικό, πληρώνοντας έτσι το δρόμο για μια επαναστατική εκπαιδευτική πρακτική.

Οι **ανεξάρτητες μεταβλητές** της έρευνας ήταν οι διαφορετικές διδακτικές παρεμβάσεις (ΕΠ, εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, συμβατική διδασκαλία). Η **εξαρτημένη μεταβλητή** ήταν ο επιστημονικός εγγραμματισμός των μαθητών/τριών, όπως αυτός μετρήθηκε μέσω της επίδοσης στα τεστ γνώσεων και κατανόησης του φυτικού και ζωικού κυττάρου. Επιπρόσθετα, συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με τη στάση των μαθητών/τριών απέναντι στην κάθε διδακτική μέθοδο και την εμπλοκή τους στη διαδικασία μάθησης, τα οποία λειτούργησαν ως συμπληρωματικές πληροφορίες για την ερμηνεία των ποσοτικών αποτελεσμάτων.

Διδακτική παρέμβαση 1: Συμβατική διδασκαλία – Φυτικό κύτταρο

Η παρούσα διδακτική παρέμβαση αφορούσε την ενότητα του φυτικού κυττάρου, στο πλαίσιο του μαθήματος της Φυσικής της ΣΤ' Δημοτικού. Το μάθημα οργανώθηκε με τη μέθοδο της συμβατικής διδασκαλίας, δηλαδή με τη χρήση του σχολικού εγχειριδίου, εποπτικών εντύπων και δραστηριοτήτων χαρτί-μολύβι, χωρίς τεχνολογικά μέσα ή ψηφιακά εργαλεία. Η συνολική διάρκεια ήταν έξι διδακτικές ώρες (45 λεπτά η καθεμία), κατανεμημένες σε διαφορετικές φάσεις.

Διδακτικοί στόχοι

Βασικός σκοπός της παρέμβασης ήταν οι μαθητές να γνωρίσουν τη δομή και τις λειτουργίες του φυτικού κυττάρου, να κατανοήσουν τη σημασία των οργανιδίων του και να είναι σε θέση να συγκρίνουν τα φυτικά με τα ζωικά κύτταρα. Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι ήταν:

- **Γνωστικοί:** Να κατονομάζουν τα οργανίδια (πυρήνας, κυτταρικό τοίχωμα, κυτταρόπλασμα, χλωροπλάστες, μιτοχόνδρια κ.λπ.), να περιγράφουν τις βασικές λειτουργίες τους και να τα αναγνωρίζουν σε απεικονίσεις.
- **Δεξιότητων:** Να μπορούν να αναπαριστούν σχηματικά το φυτικό κύτταρο, να συγκρίνουν τις ομοιότητες και τις διαφορές με το ζωικό και να εργάζονται συνεργατικά σε ομάδες.
- **Στάσεων:** Να καλλιεργήσουν περιέργεια και ενδιαφέρον για τη βιολογία, να εκφράζουν δημιουργικά τις ιδέες τους και να σέβονται τη συνεργασία στην ομάδα.

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές είχαν ήδη διδαχθεί βασικά στοιχεία για τους ζωντανούς οργανισμούς και την έννοια της κυτταρικής μονάδας, χωρίς όμως να έχουν έρθει σε συστηματική επαφή με την ανατομία των φυτικών και ζωικών κυττάρων.

Πορεία διδασκαλίας

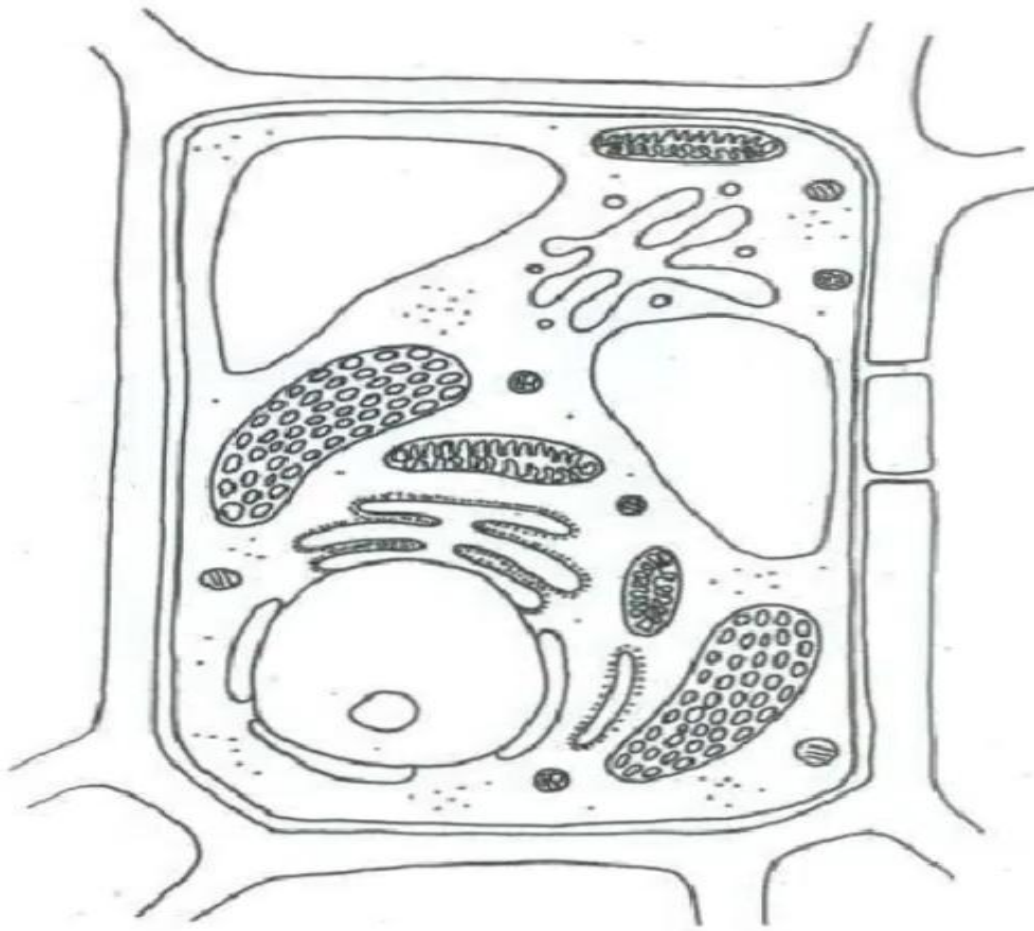
Η παρέμβαση αναπτύχθηκε σε έξι συνεχόμενες διδακτικές ώρες:

1. Πρώτη ώρα – Εισαγωγή στο κύτταρο

Ο δάσκαλος ξεκίνησε με μια συζήτηση–αφόρμηση, θέτοντας ερωτήματα όπως: «Από τι αποτελείται ένα φύλλο;», «Τι είναι το μικρότερο δομικό συστατικό της ζωής;». Οι μαθητές κατέθεσαν τις πρώτες ιδέες τους, ενώ παράλληλα παρουσιάστηκαν εικόνες από το σχολικό βιβλίο με μικροσκοπικές απεικονίσεις κυττάρων.

2. Δεύτερη ώρα – Δομή του φυτικού κυττάρου

Παρουσιάστηκε στον πίνακα σχηματικό διάγραμμα του φυτικού κυττάρου. Οι μαθητές εργάστηκαν ατομικά σε φύλλο εργασίας, χρωματίζοντας τα μέρη του κυττάρου και τοποθετώντας τις ονομασίες τους.



3. Τρίτη ώρα – Λειτουργίες των οργανιδίων

Οι λειτουργίες παρουσιάστηκαν με παραστατικές αναλογίες (π.χ. ο πυρήνας ως «εγκέφαλος» του κυττάρου, οι χλωροπλάστες ως «εργοστάσια ενέργειας»). Οι μαθητές συμμετείχαν σε παιχνίδι καρτών, όπου έπρεπε να αντιστοιχίσουν οργανίδια με τη λειτουργία τους.

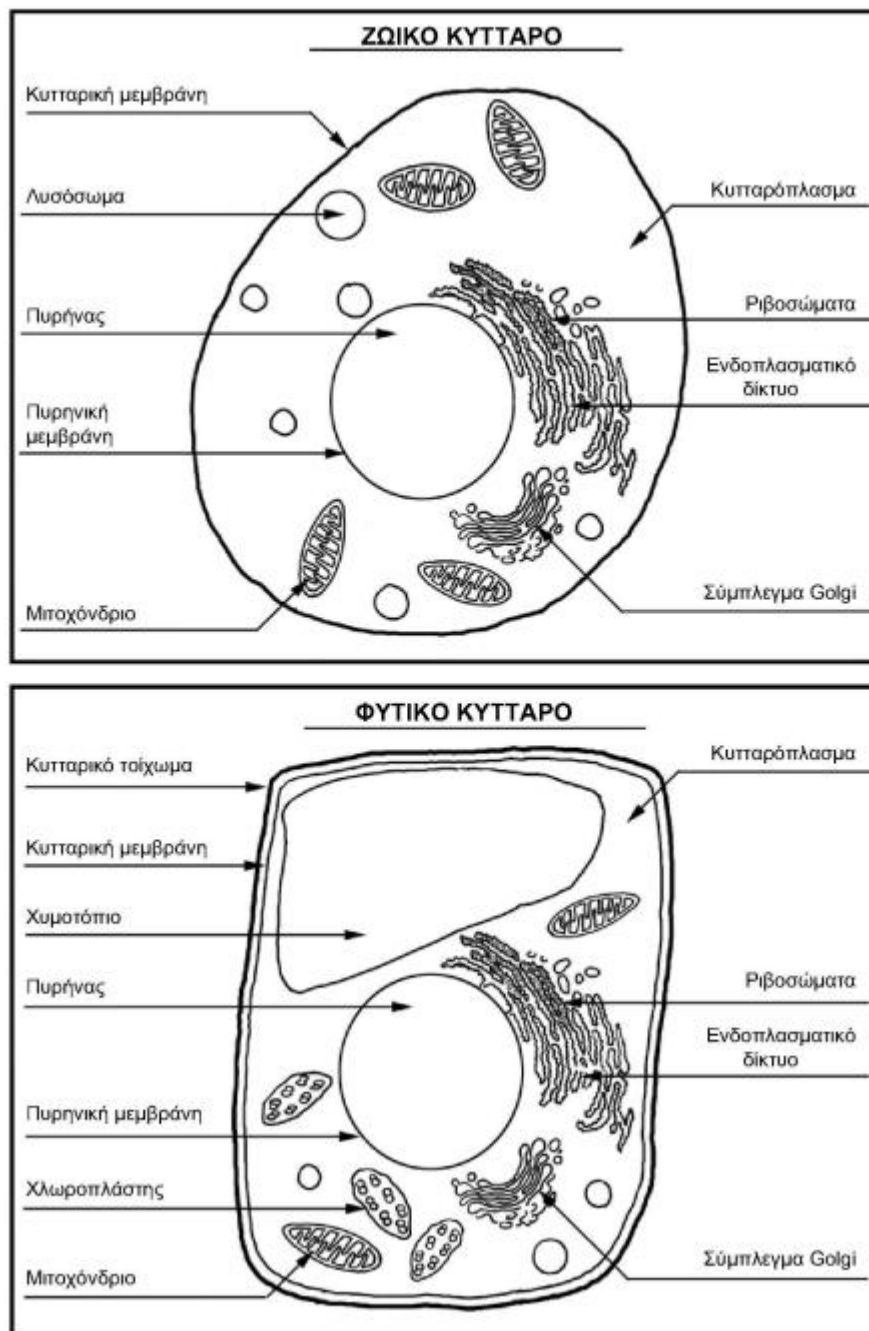
- Παρατήρησε τις εικόνες του ζωικού και του φυτικού κυττάρου. Μελέτησε τις παρακάτω προτάσεις που είναι σε πλαίσιο. Αντιστοίχισε σε κάθε πρόταση, μία από τις επόμενες λέξεις: **πυρήνας, χυμοτόπιο, μιτοχόνδρια, κυτταρική μεμβράνη, κυτταρόπλασμα, κυτταρικό τοίχωμα, χλωροπλάστες.**

.....	→	Είναι όλος ο χώρος ανάμεσα στην κυτταρική μεμβράνη και τον πυρήνα.
.....	→	Εδώ παράγεται η ενέργεια που χρειάζεται το κύτταρο.
.....	→	Περιβάλλει το κύτταρο, αλλά επιπλέον παίζει ρόλο στην ανταλλαγή ουσιών ανάμεσα στο κύτταρο και το εξωτερικό περιβάλλον και ελέγχει την είσοδο και έξοδο των διαφόρων ουσιών στο κύτταρο.
.....	→	Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του εσωτερικού του φυτικού κυττάρου και χρησιμεύει ως χώρος αποθήκευσης νερού και άλλων ουσιών.
.....	→	Είναι ένα εξωτερικό περίβλημα της κυτταρικής μεμβράνης του φυτικού κυττάρου.
.....	→	Βρίσκεται στο εσωτερικό του κυττάρου και περιέχει το γενετικό υλικό. Χρειάζεται για να ελέγχει τις δραστηριότητες και την κατασκευή όλου του κυττάρου.
.....	→	Έχουν πράσινο χρώμα και βρίσκονται μόνο στα φυτικά κύτταρα.

4. Τέταρτη ώρα – Σύγκριση φυτικού και ζωικού κυττάρου

Δημιουργήθηκε συγκριτικός πίνακας στον πίνακα και οι μαθητές εργάστηκαν ομαδικά με καρτέλες. Μέσα από ερωτήσεις διερευνητικού χαρακτήρα, συζητήθηκε η σημασία των διαφορών.

ΕΙΚΟΝΕΣ ΖΩΙΚΟΥ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ



5. Πέμπτη ώρα – Δημιουργική έκφραση

Οι ομάδες κλήθηκαν να φτιάξουν αφίσες με το φυτικό κύτταρο και να παρουσιάσουν σύντομα θεατρικά δρώμενα. Κάθε μαθητής υποδύθηκε ένα οργάνιδιο, παρουσιάζοντας με χιούμορ και φαντασία τον ρόλο του.

6. Έκτη ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Πραγματοποιήθηκε ατομικό quiz (πολλαπλής επιλογής, αντιστοίχισης και σύντομης ανάπτυξης), καθώς και συζήτηση αναστοχασμού στην ολομέλεια: τι έμαθαν, τι τους εντυπωσίασε, ποιες απορίες διατηρούν.

https://eclass.sch.gr/modules/exercise/exercise_submit.php?course=0501660307&exerciseId=367549

Αξιολόγηση – Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση ήταν διαμορφωτική και τελική. Στις ενδιάμεσες φάσεις αξιοποιήθηκαν φύλλα εργασίας και παιχνίδια καρτών, ενώ στο τέλος χρησιμοποιήθηκε quiz και συζήτηση. Η διαδικασία ανέδειξε ότι οι μαθητές κατανόησαν τα βασικά χαρακτηριστικά του φυτικού κυττάρου και μπόρεσαν να εκφραστούν δημιουργικά.

Παρατηρήσεις

Η χρήση αποκλειστικά συμβατικών μέσων περιόρισε τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης και οπτικοποίησης, ωστόσο επέτρεψε στους μαθητές να αξιοποιήσουν τη φαντασία τους και να καλλιεργήσουν δεξιότητες συνεργασίας και έκφρασης.

Διδακτική παρέμβαση 2: Συμβατική διδασκαλία – Ζωικό κύτταρο

Η δεύτερη διδακτική παρέμβαση εντάχθηκε στο πλαίσιο της συμβατικής διδασκαλίας και αφορούσε το ζωικό κύτταρο. Σχεδιάστηκε για να υλοποιηθεί σε έξι διδακτικές ώρες των 45 λεπτών, με μεθοδολογική προσέγγιση βασισμένη στο σχολικό εγχειρίδιο, σε εποπτικές εικόνες και σε δραστηριότητες χαρτί-μολύβι, χωρίς τη χρήση τεχνολογικών μέσων.

Διδακτικοί στόχοι

Η παρέμβαση είχε στόχο οι μαθητές:

- **Γνωστικοί στόχοι:** Να αναγνωρίσουν και να ονομάσουν τα βασικά μέρη του ζωικού κυττάρου (πυρήνας, κυτταρόπλασμα, κυτταρική μεμβράνη, μιτοχόνδρια κ.λπ.), να περιγράψουν τις βασικές λειτουργίες των οργανιδίων και να τα διαφοροποιούν από τα φυτικά κύτταρα.
- **Δεξιότητων:** Να αποκτήσουν ικανότητα συγκριτικής ανάλυσης μεταξύ φυτικών και ζωικών κυττάρων, να αναπαραστήσουν το ζωικό κύτταρο σε σχέδιο και να συνεργάζονται σε ομαδικές δραστηριότητες.
- **Στάσεων:** Να καλλιεργήσουν θετική στάση απέναντι στη μελέτη της βιολογίας, να αναπτύξουν ενδιαφέρον για το «αόρατο μικρόκοσμο» και να ενισχύσουν τη δημιουργική τους έκφραση.

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές είχαν ήδη διδαχθεί τη βασική έννοια του κυττάρου και τη δομή του φυτικού κυττάρου. Έτσι, διέθεταν το απαραίτητο υπόβαθρο για να εισέλθουν στη μελέτη του ζωικού κυττάρου με συγκριτική διάθεση.

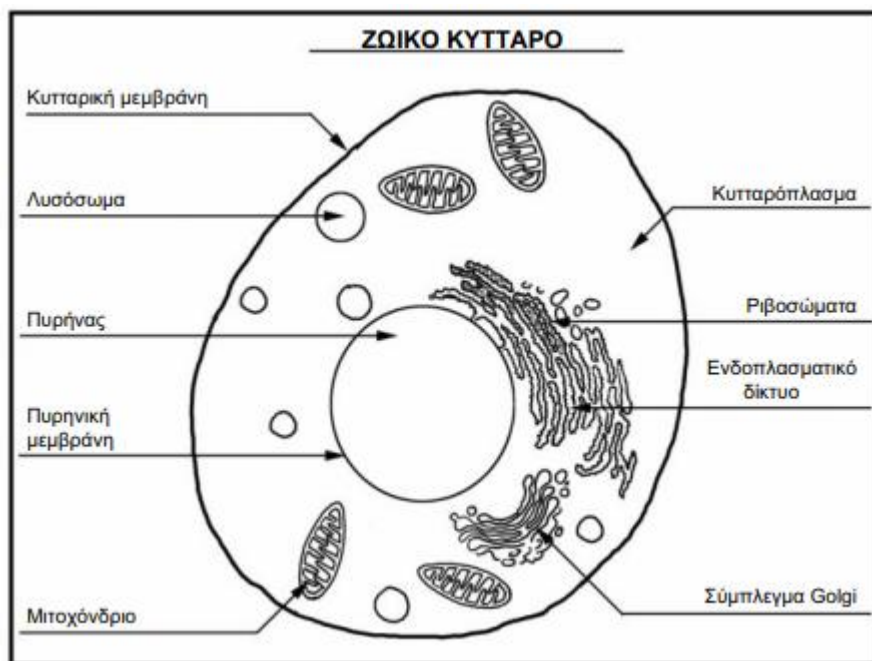
Πορεία διδασκαλίας

1. Πρώτη ώρα – Αφόρμηση και εισαγωγή στο ζωικό κύτταρο

Ο δάσκαλος ξεκίνησε με ερωτήματα διερεύνησης («Τι διαφορά μπορεί να έχει το κύτταρο ενός ζώου από ενός φυτού;»). Οι μαθητές πρότειναν υποθέσεις και ακολούθησε συζήτηση με βάση εικόνες από το σχολικό βιβλίο και διαγράμματα στον πίνακα.

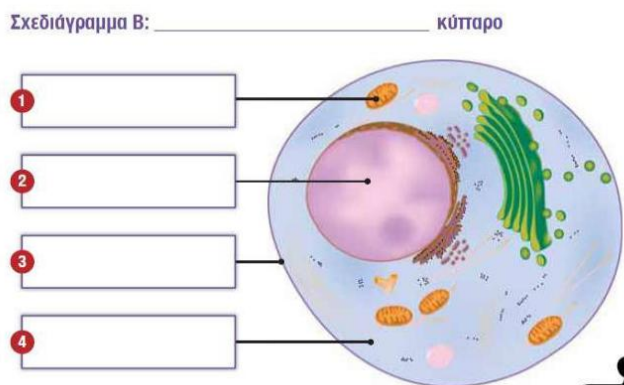
2. Δεύτερη ώρα – Δομή του ζωικού κυττάρου

Παρουσιάστηκε το σχηματικό διάγραμμα του ζωικού κυττάρου, το οποίο οι μαθητές αντέγραψαν σε φύλλο εργασίας, χρωματίζοντας και ονοματίζοντας τα μέρη του. Δόθηκε έμφαση σε στοιχεία που το διαφοροποιούν από το φυτικό (π.χ. έλλειψη κυτταρικού τοιχώματος και χλωροπλαστών).



3. Τρίτη ώρα – Λειτουργίες των οργανιδίων

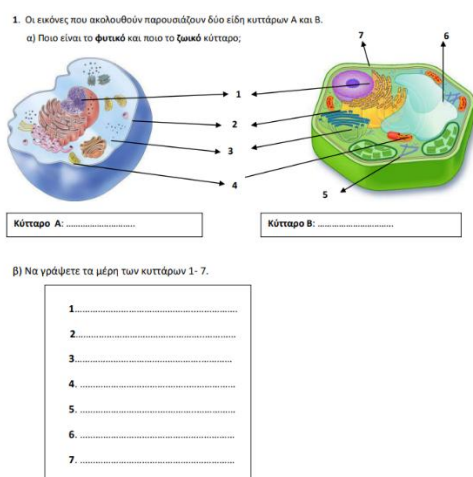
Μέσα από συζήτηση και παραδείγματα, παρουσιάστηκαν οι λειτουργίες των οργανιδίων. Οι μαθητές συμμετείχαν σε δραστηριότητα αντιστοίχισης οργανιδίου–λειτουργίας και ολοκλήρωσαν σχετικό φύλλο εργασίας.



4. Τέταρτη ώρα – Σύγκριση με το φυτικό κύτταρο

Δημιουργήθηκε συγκριτικός πίνακας στον πίνακα και οι μαθητές εργάστηκαν ομαδικά σε δραστηριότητα «ομοιότητες–διαφορές». Η δραστηριότητα ενίσχυσε την κατανόηση

της διαφοροποίησης των δύο τύπων κυττάρου.



5. Πέμπτη ώρα – Δημιουργική δραστηριότητα

Οι ομάδες κατασκεύασαν αφίσες ή κολάζ με θέμα το ζωικό κύτταρο. Κάθε ομάδα παρουσίασε τη δουλειά της, χρησιμοποιώντας παραδείγματα από καθημερινές αναλογίες («ο πυρήνας είναι ο αρχηγός», «η κυτταρική μεμβράνη είναι το τείχος»).

6. Έκτη ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Πραγματοποιήθηκε ατομικό quiz (σύντομες ερωτήσεις, αντιστοιχίσεις, συμπλήρωση κενών). Ακολούθησε αναστοχαστική συζήτηση στην ολομέλεια, όπου οι μαθητές μοιράστηκαν τις εντυπώσεις τους και κατέγραψαν ποια γνώση τους φάνηκε πιο χρήσιμη.

Αξιολόγηση – Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση ήταν διαμορφωτική, με συνεχή παρακολούθηση της προόδου μέσω φύλλων εργασίας και δραστηριοτήτων, και τελική μέσω quiz και συζήτησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές κατανόησαν τις βασικές διαφορές ζωικού και φυτικού κυττάρου και ανέπτυξαν θετική στάση προς τη βιολογία.

Παρατηρήσεις

Η διδασκαλία με συμβατικά μέσα περιόρισε την άμεση οπτικοποίηση των οργανιδίων, ωστόσο ενίσχυσε τη συνεργατική μάθηση και έδωσε χώρο για δημιουργικές

προσεγγίσεις. Οι μαθητές μπόρεσαν να εσωτερικεύσουν τη νέα γνώση μέσα από συγκριτικές και βιωματικές δραστηριότητες.

Διδακτική παρέμβαση 3: Διδασκαλία με προσομοιώσεις – Φυτικό κύτταρο

Η τρίτη διδακτική παρέμβαση αφορούσε τη διδασκαλία του φυτικού κυττάρου με αξιοποίηση ψηφιακών προσομοιώσεων. Η διδακτική προσέγγιση οργανώθηκε σε έξι διδακτικές ώρες (45 λεπτά η καθεμία) και αξιοποίησε διαδραστικά περιβάλλοντα, στα οποία οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να πειραματιστούν εικονικά, να εξερευνήσουν δυναμικά μοντέλα και να ανακαλύψουν τη λειτουργία των οργανιδίων μέσα από αλληλεπιδράσεις.

Διδακτικοί στόχοι

- **Γνωστικοί:** Να αναγνωρίζουν και να ονομάζουν τα οργανίδια του φυτικού κυττάρου, να κατανοούν τις λειτουργίες τους και να περιγράφουν τις ιδιαιτερότητες που διαφοροποιούν το φυτικό από το ζωικό κύτταρο.
- **Δεξιότητων:** Να εξασκηθούν στην αξιοποίηση προσομοιώσεων, να διερευνούν φαινόμενα μέσα από αλληλεπίδραση με ψηφιακά περιβάλλοντα, να ενισχύσουν δεξιότητες παρατήρησης, ανακάλυψης και ανάλυσης.
- **Στάσεων:** Να αναπτύξουν θετική στάση προς τη χρήση των ΤΠΕ στη μάθηση, να ενισχύσουν το ενδιαφέρον τους για τη βιολογία και να καλλιεργήσουν την κριτική σκέψη τους μέσα από διερεύνηση και συζήτηση.

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές είχαν βασικές γνώσεις για το κύτταρο και την έννοια του «δομικού λίθου της ζωής» από προηγούμενες διδασκαλίες. Επίσης είχαν μια πρώτη γνωριμία με τα οργανίδια του φυτικού κυττάρου μέσα από απλές εικόνες, χωρίς όμως να έχουν αλληλεπιδράσει με ψηφιακά μοντέλα.

Πορεία διδασκαλίας

1. **Πρώτη ώρα – Εισαγωγή στην προσομοίωση και ενεργοποίηση ενδιαφέροντος**

Ο δάσκαλος παρουσίασε το περιβάλλον προσομοίωσης στον διαδραστικό πίνακα (<https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/10480>). Οι μαθητές παρακολούθησαν πώς «ανοίγει» ένα εικονικό φυτικό κύτταρο και πώς μπορούν να κάνουν zoom στα οργανίδια. Έγινε σύντομη συζήτηση για τις προσδοκίες και τους στόχους της δραστηριότητας.

2. Δεύτερη ώρα – Εξερεύνηση οργανιδίων

Οι μαθητές, σε ομάδες μπροστά από υπολογιστές ή tablets, εξερεύνησαν το εικονικό φυτικό κύτταρο από το περιβάλλον προσομοίωσης της πρώτης ώρας. Κάθε ομάδα ανέλαβε να παρατηρήσει συγκεκριμένα οργανίδια (π.χ. πυρήνας, μιτοχόνδρια, χλωροπλάστες, κυτταρικό τοίχωμα) και να καταγράψει βασικές λειτουργίες.

3. Τρίτη ώρα – Διερεύνηση λειτουργιών

Μέσα από τις δυνατότητες της προσομοίωσης (<https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/1302>), οι μαθητές «ενεργοποίησαν» λειτουργίες όπως φωτοσύνθεση ή παραγωγή ενέργειας. Παρατήρησαν αλλαγές στο εικονικό περιβάλλον και κατέγραψαν τα συμπεράσματά τους σε φύλλο εργασίας.

4. Τέταρτη ώρα – Σύγκριση με ζωικό κύτταρο μέσω προσομοίωσης

Οι μαθητές επέλεξαν την επιλογή «ζωικό κύτταρο» (<https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/10479>) μέσα στην ίδια εφαρμογή και πραγματοποίησαν συγκρίσεις με το φυτικό. Στην ολομέλεια κατέγραψαν σε συγκριτικό πίνακα τις βασικές διαφορές (κυτταρικό τοίχωμα, χλωροπλάστες, κεντρική χυμοτόπια).

5. Πέμπτη ώρα – Δημιουργική παρουσίαση

Οι ομάδες δημιούργησαν σύντομες παρουσιάσεις (με διαφάνειες ή αφίσες) αξιοποιώντας στιγμιότυπα (screenshots) από την προσομοίωση. Παρουσίασαν στην τάξη τα οργανίδια που μελέτησαν και τις λειτουργίες τους.

6. Έκτη ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Ο δάσκαλος έδωσε στους μαθητές quiz πολλαπλής επιλογής μέσα στην ίδια εφαρμογή, ώστε να αξιολογηθεί η κατανόηση. Έγινε αναστοχαστική συζήτηση, όπου οι μαθητές εξέφρασαν τι τους άρεσε περισσότερο, τι δυσκολίες είχαν και πώς ένιωσαν με τη χρήση προσομοίωσης.

Αξιολόγηση – Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση συνδύασε διαμορφωτικές διαδικασίες (παρατήρηση συμμετοχής, φύλλα εργασίας, καταγραφή παρατηρήσεων) με τελική αξιολόγηση μέσω quiz και παρουσιάσεων. Οι μαθητές έδειξαν αυξημένο ενθουσιασμό, ενώ η αλληλεπίδραση με την προσομοίωση ενίσχυσε την κατανόηση σύνθετων λειτουργιών.

Παρατηρήσεις

Η χρήση προσομοιώσεων επέτρεψε στους μαθητές να «βιώσουν» εικονικά τη λειτουργία του φυτικού κυττάρου, να αποκτήσουν εμπειρία ενεργού διερεύνησης και να κατανοήσουν καλύτερα τη σημασία των οργανιδίων. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι ορισμένοι μαθητές επικεντρώνονταν περισσότερο στο «παιχνιδιώδες» στοιχείο της εφαρμογής, γεγονός που απαιτούσε συχνές παρεμβάσεις του δασκάλου για εστίαση στο μαθησιακό στόχο.

Διδακτική παρέμβαση 4: Διδασκαλία με προσομοιώσεις – Ζωικό κύτταρο

Η τέταρτη διδακτική παρέμβαση αφορούσε τη διδασκαλία του ζωικού κυττάρου με χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων. Η διδακτική διαδικασία οργανώθηκε σε έξι διδακτικές ώρες (45 λεπτά έκαστη) και σχεδιάστηκε ώστε οι μαθητές να αλληλεπιδράσουν με ένα εικονικό περιβάλλον προσομοίωσης, εξερευνώντας τα οργανίδια και τις λειτουργίες τους.

Διδακτικοί στόχοι

- **Γνωστικοί:** Να αναγνωρίζουν τα οργανίδια του ζωικού κυττάρου, να περιγράφουν τις λειτουργίες τους και να μπορούν να τα διαφοροποιούν από εκείνα του φυτικού κυττάρου.

- **Δεξιότητων:** Να αναπτύξουν δεξιότητες χειρισμού προσομοιώσεων, να εξασκηθούν στην παρατήρηση και στην καταγραφή δεδομένων, να συγκρίνουν πληροφορίες και να παρουσιάζουν τα αποτελέσματά τους.
- **Στάσεων:** Να ενισχύσουν την περιέργεια και το ενδιαφέρον τους για τη μελέτη του αόρατου μικρόκοσμου, να καλλιεργήσουν θετική στάση απέναντι στη βιολογία και να εκτιμήσουν τη συμβολή της τεχνολογίας στη μάθηση.

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές είχαν διδαχθεί ήδη το φυτικό κύτταρο και είχαν μια πρώτη εμπειρία με το περιβάλλον προσομοίωσης από την προηγούμενη διδακτική παρέμβαση. Διέθεταν, συνεπώς, το απαραίτητο υπόβαθρο για συγκρίσεις και για στοχευμένη διερεύνηση των ιδιοτεροτήτων του ζωικού κυττάρου.

Πορεία διδασκαλίας

1. Πρώτη ώρα – Εισαγωγή στο ζωικό κύτταρο μέσω προσομοίωσης

Ο δάσκαλος παρουσίασε το περιβάλλον προσομοίωσης του ζωικού κυττάρου στον διαδραστικό πίνακα (<https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/10479>). Μέσα από την αρχική εξερεύνηση, οι μαθητές εντόπισαν τον πυρήνα, το κυτταρόπλασμα, την κυτταρική μεμβράνη και τα βασικά οργανίδια.

2. Δεύτερη ώρα – Παρατήρηση και ταυτοποίηση οργανιδίων

Οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες χρησιμοποιώντας υπολογιστές ή tablets μέσα από την εφαρμογή της πρώτης ώρας. Κάθε ομάδα ανέλαβε την παρατήρηση και μελέτη συγκεκριμένων οργανιδίων (π.χ. μιτοχόνδρια, λυσοσώματα, ενδοπλασματικό δίκτυο). Κατέγραψαν σε φύλλα εργασίας τις λειτουργίες και τις ιδιοτεροτήτές τους.

3. Τρίτη ώρα – Διερεύνηση λειτουργιών

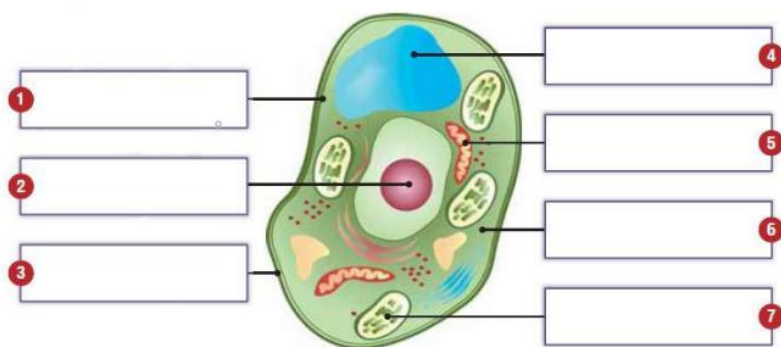
Μέσα από την προσομοίωση, οι μαθητές παρακολούθησαν εικονικά πώς γίνεται η παραγωγή ενέργειας, η διάσπαση ουσιών και η επικοινωνία μεταξύ οργανιδίων. Ακολούθησε συζήτηση με παραδείγματα από την καθημερινή ζωή, ώστε να συνδεθούν οι λειτουργίες με γνωστά βιώματα (π.χ. τα μιτοχόνδρια ως «εργοστάσια ενέργειας»).

4. Τέταρτη ώρα – Συγκριτική ανάλυση φυτικού και ζωικού κυττάρου

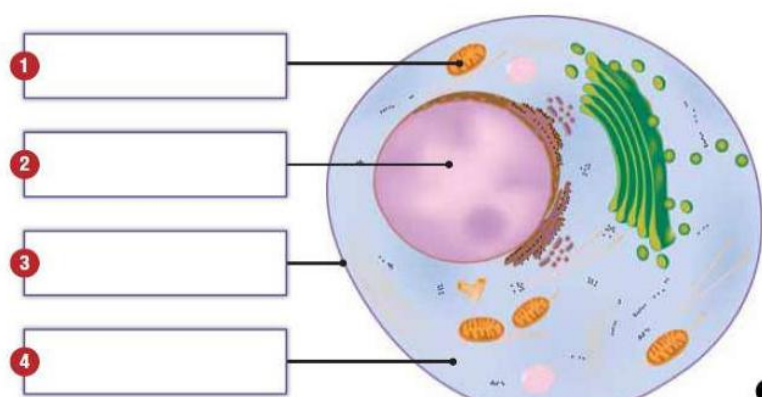
Οι μαθητές εργάστηκαν με τις επιλογές της εφαρμογής (<https://gizmos.explorellearning.com/find-gizmos/launch-gizmo?resourceId=1066>) που επέτρεπαν τη μετάβαση από το ένα κύτταρο στο άλλο. Δημιούργησαν συγκριτικό πίνακα με ομοιότητες και διαφορές. Έγινε συζήτηση στην ολομέλεια για τα χαρακτηριστικά που λείπουν από το ζωικό κύτταρο (κυτταρικό τοίχωμα, χλωροπλάστες).

Να ονομάσετε τα δύο κύτταρα που φαίνονται πιο κάτω και να συμπληρώσετε τις ενδείξεις.

Σχεδιάγραμμα Α: _____ κύτταρο



Σχεδιάγραμμα Β: _____ κύτταρο



5. Πέμπτη ώρα – Παρουσίαση εργασιών

Οι ομάδες παρουσίασαν τα ευρήματά τους, αξιοποιώντας στιγμιότυπα οθόνης από την προσομοίωση. Ορισμένες ομάδες χρησιμοποίησαν δημιουργικές μεταφορές («τα λυσοσώματα είναι οι καθαριστές του κυττάρου»), οι οποίες ενίσχυσαν την κατανόηση.

6. Έκτη ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Ο δάσκαλος αξιοποίησε το quiz της εφαρμογής για την αξιολόγηση της κατανόησης. Ακολούθησε αναστοχαστική συζήτηση με ερωτήσεις όπως: «Ποιο οργανίδιο σας έκανε περισσότερη εντύπωση;» και «Ποιον τρόπο διδασκαλίας προτιμήσατε;». Οι μαθητές εξέφρασαν αυξημένο ενθουσιασμό για την εικονική εξερεύνηση.

Αξιολόγηση – Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση βασίστηκε σε συνδυασμό διαμορφωτικών και τελικών διαδικασιών: παρατήρηση συμμετοχής, καταγραφή σε φύλλα εργασίας, παρουσίαση ομάδων και τελική δοκιμασία μέσα στην εφαρμογή. Οι μαθητές κατέδειξαν καλή κατανόηση της δομής και των λειτουργιών του ζωικού κυττάρου, ενώ η συγκριτική ανάλυση με το φυτικό κύτταρο ενίσχυσε την εννοιολογική τους σαφήνεια.

Παρατηρήσεις

Η χρήση προσομοιώσεων αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στην ενίσχυση της οπτικοποίησης των οργανιδίων και των λειτουργιών τους. Οι μαθητές ήταν περισσότερο ενεργοί και συμμετοχικοί σε σχέση με τη συμβατική διδασκαλία, ενώ φάνηκε ότι η διερευνητική φύση της προσομοίωσης καλλιέργησε μεγαλύτερο ενδιαφέρον και δημιουργικότητα. Ωστόσο, παρατηρήθηκε η ανάγκη για συνεχή καθοδήγηση ώστε να παραμένουν προσηλωμένοι στον μαθησιακό στόχο και να μην αποσπώνται από τον «παιχνιδιώδη» χαρακτήρα της εφαρμογής.

Διδακτική παρέμβαση 5: Διδασκαλία με Επαυξημένη Πραγματικότητα – Φυτικό κύτταρο

Η πέμπτη διδακτική παρέμβαση σχεδιάστηκε με τη χρήση εργαλείων Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ) για τη διδασκαλία του φυτικού κυττάρου. Μέσα από την ενσωμάτωση τρισδιάστατων μοντέλων και τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με αυτά μέσω φορητών συσκευών (tablets, smartphones), οι μαθητές απέκτησαν μια πιο «βιωματική» εμπειρία της μικροσκοπικής δομής. Η διδασκαλία διήρκεσε έξι διδακτικές ώρες (45 λεπτά έκαστη).

Διδακτικοί στόχοι

- **Γνωστικοί:** Να αναγνωρίζουν και να ονομάζουν τα οργανίδια του φυτικού κυττάρου, να κατανοούν τις βασικές τους λειτουργίες και να εντοπίζουν τα χαρακτηριστικά που το διαφοροποιούν από το ζωικό κύτταρο.
- **Δεξιότητων:** Να αναπτύξουν δεξιότητες εξερεύνησης τρισδιάστατων μοντέλων με ΕΠ, να παρατηρούν με λεπτομέρεια, να συσχετίζουν πληροφορίες και να τεκμηριώνουν τις παρατηρήσεις τους.
- **Στάσεων:** Να καλλιεργήσουν θετική στάση απέναντι στη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών, να ενισχύσουν τη συνεργασία και την ομαδική μάθηση, να αυξήσουν τον ενθουσιασμό τους για το μάθημα της βιολογίας.

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές είχαν ήδη διδαχθεί το κύτταρο σε βασικό επίπεδο και είχαν γνωρίσει τα οργανίδια μέσα από εικόνες και συμβατική διδασκαλία. Δεν είχαν όμως προηγούμενη εμπειρία με εργαλεία ΕΠ.

Πορεία Διδασκαλίας

1. Πρώτη ώρα – Εισαγωγή στην Επαυξημένη Πραγματικότητα

Ο δάσκαλος εξήγησε τι είναι η ΕΠ και πώς θα χρησιμοποιηθεί στην τάξη. Οι μαθητές

άνοιξαν την εφαρμογή ArTutor4 μέσω tablets με το ακόλουθο εικονίδιο .



Εμφανίζονται οι ακόλουθες επιλογές: . Οι μαθητές επιλέγουν την

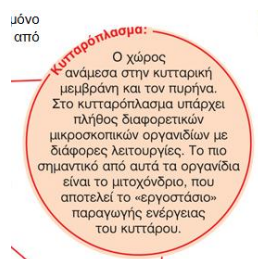


επιλογή «Σάρωση QR» και σαρώνουν το ακόλουθο QR code . Στη



συνέχεια, εμφανίζεται το ακόλουθο πλαίσιο . Οι μαθητές πατάνε το εμφανιζόμενο βελάκι και στη συνέχεια σκανάρουν την εικόνα του φυτικού κυττάρου από το σχολικό βιβλίο της Φυσικής ΣΤ' Δημοτικού σελ. 57 τα οποία ενεργοποίησαν τρισδιάστατο μοντέλο φυτικού κυττάρου. Έγινε αρχική διερεύνηση και συζήτηση για τις πρώτες εντυπώσεις.

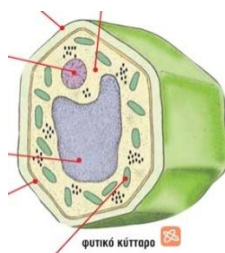
Εικόνα «trigger» 1



2. Δεύτερη ώρα – Παρατήρηση οργανιδίων σε 3D

Οι μαθητές περιηγήθηκαν στο τρισδιάστατο μοντέλο, κάνοντας zoom σε συγκεκριμένα οργανίδια (πυρήνας, χλωροπλάστες, μιτοχόνδρια, κυτταρικό τοίχωμα, κεντρική χυμοτόπια). Κατέγραψαν ονομασίες και βασικές λειτουργίες σε φύλλο εργασίας. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με την πρώτη ώρα διδασκαλίας. Άλλαξε η εικόνα «trigger» που έπρεπε να σκανάρουν οι μαθητές, ώστε να ενεργοποιηθεί η ΕΠ.

Εικόνα «trigger» 2



3. Τρίτη ώρα – Ενεργητική διερεύνηση λειτουργιών

Μέσα από την ΕΠ οι μαθητές παρακολούθησαν ένα ανθρώπινο κύτταρο και προσπάθησαν να εντοπίσουν ομοιότητες και διαφορές συγκριτικά με τα φυτικά κύτταρα. Επίσης, προσπάθησαν να εξηγήσουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το ανθρώπινο κύτταρο.

Εικόνα «trigger» 3



Τέταρτη ώρα κ' πέμπτη ώρα– Συνεργατική δραστηριότητα

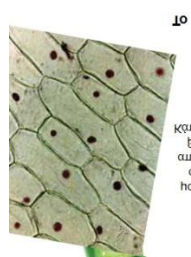
Οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες: κάθε ομάδα ανέλαβε να «εξερευνήσει» και να παρουσιάσει ένα οργανίδιο στην ολομέλεια, αξιοποιώντας τις δυνατότητες της ΕΠ. Χρησιμοποίησαν tablets για να δείξουν στους συμμαθητές τους τις λεπτομέρειες του οργανιδίου. Οι ομάδες δημιούργησαν αφίσες και σύντομες παρουσιάσεις που συνδύαζαν στιγμιότυπα (screenshots) από το τρισδιάστατο μοντέλο με δικές τους περιγραφές. Έδωσαν δημιουργικούς τίτλους στα οργανίδια (π.χ. «οι μπαταρίες του κυττάρου» για τα μιτοχόνδρια).

Αξιοποιήθηκε η ΕΠ της δεύτερης ώρας.

4. Έκτη ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Ο δάσκαλος αξιοποίησε διαδραστικό quiz μέσα από την εφαρμογή της ΕΠ, ενώ οι μαθητές συμπλήρωσαν φύλλο αυτοαξιολόγησης. Στην τελική συζήτηση εξέφρασαν ενθουσιασμό για την εμπειρία και ζήτησαν να εφαρμοστεί ξανά η μέθοδος σε άλλα κεφάλαια της Φυσικής.

Εικόνα «trigger» 4



Αξιολόγηση – Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση περιλάμβανε φύλλα εργασίας, παρατήρηση συμμετοχής, ομαδικές παρουσιάσεις και quiz. Οι μαθητές κατέδειξαν υψηλό επίπεδο κατανόησης των λειτουργιών και εντυπωσιακή ικανότητα συσχέτισης των οργανιδίων με τις λειτουργίες τους. Η συνεργατική μάθηση ενισχύθηκε σημαντικά.

Παρατηρήσεις

Η χρήση ΕΠ προσέφερε μια ιδιαίτερα ελκυστική και καθηλωτική εμπειρία μάθησης. Οι μαθητές έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον, ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο βοήθησε στη χωρική κατανόηση των οργανιδίων. Η διδασκαλία χαρακτηρίστηκε από αυξημένη συμμετοχή, ενθουσιασμό και δημιουργικότητα. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν τεχνικά προβλήματα (π.χ. καθυστερήσεις στην απόκριση των συσκευών), τα οποία χρειάστηκαν γρήγορη διαχείριση από τον δάσκαλο.

Διδακτική παρέμβαση 6: Διδασκαλία με Επαυξημένη Πραγματικότητα – Ζωικό κύτταρο

Η έκτη και τελευταία διδακτική παρέμβαση αφορούσε τη διδασκαλία του ζωικού κυττάρου με τη χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας (ΕΠ). Η παρέμβαση οργανώθηκε σε έξι διδακτικές ώρες (45 λεπτά η καθεμία) και στόχος της ήταν να

αναδειχθούν οι ιδιαιτερότητες του ζωικού κυττάρου μέσα από την αλληλεπίδραση των μαθητών με τρισδιάστατα μοντέλα.

Διδακτικοί στόχοι

- **Γνωστικοί:** Να αναγνωρίζουν τα οργανίδια του ζωικού κυττάρου και να περιγράφουν τις λειτουργίες τους. Να διακρίνουν τις διαφορές του ζωικού από το φυτικό κύτταρο.
- **Δεξιότητων:** Να χρησιμοποιούν εργαλεία ΕΠ για παρατήρηση και διερεύνηση, να συλλέγουν και να παρουσιάζουν δεδομένα, να ασκούνται στη συνεργασία και την ομαδική επίλυση προβλημάτων.
- **Στάσεων:** Να καλλιεργήσουν ενδιαφέρον για τη βιολογία και τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών στη μάθηση, να ενισχύσουν τη δημιουργικότητα και τη διάθεση για διερεύνηση.

Προαπαιτούμενες γνώσεις

Οι μαθητές είχαν ήδη μελετήσει το φυτικό κύτταρο με τη βοήθεια της ΕΠ και γνώριζαν τις βασικές αρχές λειτουργίας του κυττάρου. Είχαν επίσης αποκτήσει εξοικείωση με την τεχνολογία ΕΠ.

Πορεία διδασκαλίας

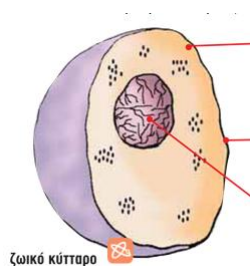
1. Πρώτη ώρα – Εισαγωγή στο τρισδιάστατο μοντέλο ζωικού κυττάρου

Ο δάσκαλος παρουσίασε το τρισδιάστατο μοντέλο ζωικού κυττάρου. Οι μαθητές, μέσω tablets, τοποθέτησαν το μοντέλο επάνω στα θρανία τους χρησιμοποιώντας markers ΕΠ. Έγινε αρχική αναγνώριση των βασικών οργανιδίων. Οι μαθητές σκάναραν το



ακόλουθο QR code: . Η εικόνα «trigger» είναι η ακόλουθη.

Εικόνα «trigger» 5



2. Δεύτερη ώρα – Αναγνώριση και καταγραφή οργανιδίων

Οι μαθητές περιηγήθηκαν στο εικονικό μοντέλο, παρατηρώντας πυρήνα, μιτοχόνδρια, και κυτταρική μεμβράνη. Κατέγραψαν σε φύλλα εργασίας ονομασίες και λειτουργίες.

Εικόνα «trigger» 6



3. Τρίτη ώρα – Διερεύνηση λειτουργιών μέσω ΕΠ

Η εφαρμογή εμφάνισε animation για διαδικασίες όπως η κυτταρική αναπνοή και η αποικοδόμηση ουσιών. Οι μαθητές παρακολούθησαν και συζήτησαν σε ομάδες πώς τα οργανίδια συνεργάζονται για να διατηρείται το κύτταρο ζωντανό.

Εικόνα «trigger» 7



4. Τέταρτη ώρα – Συγκριτική ανάλυση φυτικού και ζωικού κυττάρου

Οι μαθητές χρησιμοποίησαν την επιλογή «εναλλαγής» μεταξύ φυτικού και ζωικού κυττάρου στην εφαρμογή. Σε ομάδες συμπλήρωσαν πίνακα με ομοιότητες και διαφορές (π.χ. απουσία χλωροπλαστών και κυτταρικού τοιχώματος στο ζωικό κύτταρο).

5. Πέμπτη ώρα – Ομαδικές παρουσιάσεις

Κάθε ομάδα παρουσίασε ένα οργανίδιο της επιλογής της, δείχνοντάς το μέσω της ΕΠ στην ολομέλεια. Χρησιμοποίησαν δημιουργικές μεταφορές (π.χ. «τα λυσοσώματα είναι τα σκουπιδιάρικά του κυττάρου»), κάνοντας την παρουσίαση πιο ζωντανή.

6. Έκτη ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Ο δάσκαλος χρησιμοποίησε quiz μέσα από την εφαρμογή ΕΠ. Οι μαθητές έκαναν αναστοχασμό, συζητώντας τι έμαθαν και ποια μέθοδο διδασκαλίας τους βοήθησε περισσότερο να κατανοήσουν τη δομή του κυττάρου. Η πλειονότητα προτίμησε την ΕΠ λόγω της «ζωντανής» αναπαράστασης.

Αξιολόγηση – Ανατροφοδότηση

Η αξιολόγηση βασίστηκε σε φύλλα εργασίας, παρατήρηση της ομαδικής συνεργασίας, παρουσιάσεις και τελικό quiz. Οι μαθητές έδειξαν πολύ καλή κατανόηση της δομής και των λειτουργιών του ζωικού κυττάρου και κατάφεραν να συγκρίνουν με ακρίβεια τα δύο είδη κυττάρων.

Παρατηρήσεις

Η χρήση ΕΠ έδωσε τη δυνατότητα στους μαθητές να βιώσουν τη μελέτη του κυττάρου με έναν τρόπο εντυπωσιακό και καθηλωτικό. Η τρισδιάστατη απεικόνιση ενίσχυσε τη χωρική κατανόηση, ενώ η αλληλεπίδραση με το μοντέλο ενθάρρυνε τη διερευνητική μάθηση. Οι μαθητές ήταν ενθουσιασμένοι, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρξαν τεχνικές καθυστερήσεις που χρειάστηκαν άμεση επίλυση. Συνολικά, η παρέμβαση απέδειξε την αξία της ΕΠ ως εργαλείου διδασκαλίας της βιολογίας.

5.13 Ηθικές θεωρήσεις

Καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας, τηρήθηκαν αυστηρά οι ηθικές αρχές της επιστημονικής έρευνας.

- **Ενημερωμένη συγκατάθεση:** Όπως προαναφέρθηκε, εξασφαλίστηκε η ενήμερη συγκατάθεση από τους γονείς/κηδεμόνες και η προφορική συγκατάθεση (assent) από τους μαθητές/τριες.
- **Ανωνυμία και εμπιστευτικότητα:** Όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν ανώνυμα και αντιμετωπίστηκαν με απόλυτη εμπιστευτικότητα. Δεν υπήρχε δυνατότητα ταύτισης των απαντήσεων με συγκεκριμένα άτομα. Τα προσωπικά στοιχεία των μαθητών/τριών δεν συλλέχθηκαν.
- **Δικαίωμα αποχώρησης:** Τονίστηκε στους συμμετέχοντες (και στους γονείς τους) ότι μπορούν να αποχωρήσουν από την έρευνα οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς καμία συνέπεια.
- **Διαφάνεια:** Μετά την ολοκλήρωση της έρευνας, τα αποτελέσματα θα κοινοποιηθούν στους συμμετέχοντες εκπαιδευτικούς και τις σχολικές μονάδες, παρέχοντας πολύτιμη ανατροφοδότηση για τις διδακτικές τους πρακτικές.

6 Αποτελέσματα

6.1 Ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά ομάδα και συγκριτική εξέταση

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει και αναλύει τα βασικά ευρήματα της έρευνας, διαχωρίζοντας την επίδραση της κάθε διδακτικής παρέμβασης (ΕΠ, ψηφιακές εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, συμβατική διδασκαλία) στις τρεις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια συγκριτική ανάλυση μεταξύ των ομάδων, βασισμένη στην ανάλυση διακύμανσης και τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Επίδραση της ομάδας Α – ΕΠ

Η ομάδα των μαθητών που διδάχθηκε χρησιμοποιώντας την εφαρμογή ArTutor4 παρουσίασε τα πλέον ενθαρρυντικά και στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα σε όλες

τις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού, γεγονός που υπογραμμίζει το δυναμικό της Επαυξημένης Πραγματικότητας ως ισχυρού παιδαγωγικού εργαλείου.

Διάσταση	M.O. Pre-test	M.O. Post-test	Διαφορά	T.A.	T.A.	t	p
Περιεχόμενο	1,206	2,156	+0,95	0,289	0,379	-13,245	0.000
Διαδικασίες	0,325	0,097	-0,228	0,240	0,146	5,025	0.000
Φύση της Επιστήμης	1,200	1,836	+0,636	0,429	0,422	-6,597	0.000

- Διάσταση του περιεχομένου:** Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, η κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου (δομή και λειτουργία φυτικού και ζωικού κυττάρου) ενισχύθηκε δραματικά. Ο μέσος όρος των επιδόσεων των μαθητών αυξήθηκε από 1,206\$ στο προ-τεστ σε 2,156\$ στο μετά-τεστ, σημειώνοντας μια εντυπωσιακή διαφορά +0,95\$ μονάδων. Η στατιστική σημαντικότητα αυτής της βελτίωσης επιβεβαιώνεται από την πολύ χαμηλή τιμή $p=0.000$ (που είναι μικρότερη από το συμβατικό επίπεδο σημαντικότητας 0.05) και την υψηλή τιμή $t=-13,245$. Αυτό το εύρημα υποδηλώνει ότι η οπτικοποίηση των αφηρημένων εννοιών του κυττάρου σε τρισδιάστατη μορφή, καθώς και η δυνατότητα των μαθητών να αλληλεπιδρούν με αυτά τα εικονικά μοντέλα στο φυσικό τους περιβάλλον μέσω της ArTutor4, συνέβαλαν ουσιαστικά στην εμπάθυνση της γνωστικής τους κατανόησης. Η αύξηση της τυπικής απόκλισης από 0,289 σε 0,379 στο μετά-τεστ μπορεί να υποδεικνύει μια μεγαλύτερη διασπορά στις επιδόσεις των μαθητών, ενδεχομένως λόγω των διαφορετικών ρυθμών μάθησης και της ποικίλης αφομοίωσης της νέας τεχνολογίας.
- Διάσταση των διαδικασιών της επιστήμης:** Σε αυτή τη διάσταση, η οποία αξιολογεί την ικανότητα των μαθητών να εφαρμόζουν επιστημονικές δεξιότητες (π.χ., παρατήρηση, διατύπωση υποθέσεων, ανάλυση), παρατηρήθηκε μείωση του μέσου όρου από 0,325 στο προ-τεστ σε 0,097 στο μετά-τεστ, με μια διαφορά -0,228 μονάδων. Αυτή η μείωση, η οποία είναι στατιστικά σημαντική ($t=5,025$, $p=0.000$), ερμηνεύεται ως **βελτίωση**. Δεδομένου ότι η αξιολόγηση αυτής της διάστασης συχνά αφορά την ανίχνευση

λαθών ή παρανοήσεων, η μείωση των τιμών υποδηλώνει λιγότερα λάθη και πιο ακριβείς εφαρμογές των επιστημονικών διαδικασιών από τους μαθητές. Η διαδραστική φύση της ΕΠ, η οποία ενθαρρύνει την ενεργό εξερεύνηση και τον πειραματισμό με τα εικονικά αντικείμενα, φαίνεται να ενίσχυσε την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των επιστημονικών δεξιοτήτων των μαθητών. Η μείωση της τυπικής απόκλισης από 0,240 σε 0,146 υποδεικνύει ότι οι επιδόσεις έγιναν πιο ομοιογενείς, με τους μαθητές να συγκλίνουν προς ένα υψηλότερο επίπεδο ακρίβειας.

- **Διάσταση της φύσης της επιστήμης:** Τέλος, στην κατανόηση της φύσης της επιστήμης (π.χ., ως ανθρώπινη, συνεργατική και εξελισσόμενη διαδικασία), η ομάδα ΕΠ εμφάνισε επίσης στατιστικά σημαντική βελτίωση. Ο μέσος όρος αυξήθηκε από 1,200 στο προ-τεστ σε 1,836 στο μετά-τεστ, με διαφορά +0,636 μονάδων. Η στατιστική σημαντικότητα επιβεβαιώνεται από τις τιμές $t=-6,597$ και $p=0.000$. Αυτό το εύρημα υποδηλώνει ότι η εμπειρία με την ArTutor4, η οποία πιθανόν ενθάρρυνε τη συνεργασία (ειδικά αν οι μαθητές εργάζονταν σε ζεύγη/ομάδες) και προσέφερε μια πιο δυναμική και διερευνητική προσέγγιση στη μάθηση, βοήθησε τους μαθητές να αναπτύξουν μια πιο ολοκληρωμένη και ρεαλιστική αντίληψη για την επιστήμη. Η μικρή μείωση της τυπικής απόκλισης (0,429 σε 0,422) υποδηλώνει διατήρηση της σχετικής ομοιογένειας στις αντιλήψεις τους.

Συνολικά, η Ομάδα Α απέδειξε ότι η ΕΠ μπορεί να αποτελέσει έναν καταλυτικό παράγοντα για την ολιστική ανάπτυξη του επιστημονικού εγγραμματισμού, ενισχύοντας τόσο την εννοιολογική κατανόηση, όσο και τις δεξιότητες επιστημονικής διεργασίας και τη φιλοσοφία της επιστήμης.

Επίδραση της ομάδας Β – Ψηφιακές εκπαιδευτικές προσομοιώσεις

Η ομάδα που διδάχθηκε μέσω ψηφιακών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων, σε αντίθεση με την Ομάδα Α, δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση σε καμία από τις τρεις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού.

Διάσταση	Διαφορά Pre – Post	Στατιστική σημαντικότητα
Περιεχόμενο	Μη στατιστικά σημαντική	$p > 0.05$

Διαδικασίες	Μη στατιστικά σημαντική	$p > 0.05$
Φύση της Επιστήμης	Μη στατιστικά σημαντική	$p > 0.05$

Το γεγονός ότι η διαφορά μεταξύ προ-τεστ και μετά-τεστ δεν ήταν στατιστικά σημαντική για καμία διάσταση ($p > 0.05$) υποδηλώνει ότι οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, όπως εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, δεν συνέβαλαν ουσιαστικά στην ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών. Αυτό το εύρημα είναι σημαντικό και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

Πιθανοί λόγοι για την απουσία στατιστικά σημαντικής βελτίωσης μπορεί να περιλαμβάνουν:

- **Ποιότητα και σχεδιασμός των προσομοιώσεων:** Ενδέχεται οι συγκεκριμένες ψηφιακές προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν να μην ήταν επαρκώς σχεδιασμένες από παιδαγωγική άποψη ή να μην προσέφεραν το επίπεδο διαδραστικότητας και εμπύθισης που απαιτείται για να οδηγήσει σε σημαντική μάθηση. Ορισμένες προσομοιώσεις μπορεί να είναι απλώς ψηφιακές αναπαραστάσεις χωρίς ουσιαστική δυνατότητα πειραματισμού ή ανακαλυπτικής μάθησης.
- **Παιδαγωγική ενσωμάτωση:** Ο τρόπος ενσωμάτωσης των προσομοιώσεων στη διδακτική διαδικασία από τους εκπαιδευτικούς μπορεί να μην ήταν βέλτιστος. Για να είναι αποτελεσματικές, οι προσομοιώσεις απαιτούν συχνά προσεκτική καθοδήγηση, σαφείς οδηγίες και συζήτηση μετά τη χρήση για την εδραίωση των εννοιών. Εάν η χρήση τους περιορίστηκε σε μια απλή "εξερεύνηση" χωρίς συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους και ανατροφοδότηση, η επίδραση θα είναι περιορισμένη.
- **Έλλειψη ενδιαφέροντος:** Σε σύγκριση με την ΕΠ, η οποία συχνά προκαλεί μεγαλύτερο αρχικό ενθουσιασμό λόγω της "καινοτομίας" της, οι ψηφιακές προσομοιώσεις μπορεί να μην προσέφεραν την ίδια αίσθηση "μαγείας" ή εμπύθισης, με αποτέλεσμα χαμηλότερο επίπεδο εμπλοκής.
- **Διάρκεια παρέμβασης:** Η διάρκεια της παρέμβασης μπορεί να μην ήταν επαρκής για να επιτευχθούν σημαντικά μαθησιακά κέρδη μέσω των προσομοιώσεων, οι οποίες συχνά απαιτούν περισσότερο χρόνο για την εξοικείωση και την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους.

Τα αποτελέσματα αυτά υπογραμμίζουν ότι η απλή ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην τάξη δεν εγγυάται τη μάθηση. Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του λογισμικού και, κυρίως, από τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνεται παιδαγωγικά στη διδακτική διαδικασία.

Επίδραση της ομάδας Γ – Συμβατική διδασκαλία

Η ομάδα ελέγχου, η οποία διδάχθηκε με συμβατικές μεθόδους, παρουσίασε μεικτά αποτελέσματα, με βελτίωση σε μία διάσταση, υποχώρηση σε άλλη και στασιμότητα στην τρίτη.

Διάσταση	Παρατηρούμενη τάση	Στατιστική σημαντικότητα
Περιεχόμενο	Βελτίωση	$p < 0.05$
Διαδικασίες	Υποχώρηση (Pre > Post)	$p < 0.05$
Φύση της Επιστήμης	Μη σημαντική μεταβολή	$p > 0.05$

- **Διάσταση του περιεχομένου:** Η συμβατική διδασκαλία σημείωσε **στατιστικά σημαντική βελτίωση** στην κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου ($p < 0.05$). Αυτό το εύρημα είναι αναμενόμενο, καθώς οι παραδοσιακές μέθοδοι (π.χ., διαλέξεις, σχολικά εγχειρίδια, φύλλα εργασίας) είναι συχνά σχεδιασμένες για τη μεταφορά συγκεκριμένων γνώσεων και την εκμάθηση γεγονότων. Οι μαθητές, μέσω της συστηματικής παρουσίασης του υλικού και της επανάληψης, είναι σε θέση να αφομοιώσουν πληροφορίες σχετικά με τη δομή και λειτουργία των κυττάρων.
- **Διάσταση των διαδικασιών της επιστήμης:** Σε αυτή τη διάσταση, η ομάδα της συμβατικής διδασκαλίας εμφάνισε **στατιστικά σημαντική υποχώρηση** ($p < 0.05$), καθώς ο μέσος όρος του προ-τεστ ήταν υψηλότερος από αυτόν του μετά-τεστ. Η υποχώρηση αυτή είναι ιδιαίτερα ανησυχητική. Υποδηλώνει ότι η συμβατική προσέγγιση, που συχνά επικεντρώνεται στην παθητική λήψη πληροφοριών και όχι στην ενεργή συμμετοχή σε επιστημονικές διεργασίες (π.χ., παρατήρηση, πειραματισμός, ανάλυση), όχι μόνο δεν ενίσχυσε τις δεξιότητες αυτές, αλλά ενδεχομένως επέτρεψε την εδραίωση ή την ανάδυση παρανοήσεων ή λανθασμένων προσεγγίσεων. Η έλλειψη βιωματικής μάθησης και η περιορισμένη δυνατότητα εφαρμογής των επιστημονικών μεθόδων σε

πραγματικές ή προσομοιωμένες συνθήκες μπορεί να οδήγησε σε αυτή την αρνητική τάση.

- **Διάσταση της φύσης της επιστήμης:** Στην κατανόηση της φύσης της επιστήμης, η συμβατική διδασκαλία δεν οδήγησε σε **στατιστικά σημαντική μεταβολή** ($p > 0.05$). Αυτό υποδηλώνει ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι, οι οποίες σπάνια εστιάζουν ρητά στις μετα-γνωστικές πτυχές της επιστήμης (π.χ., την ιστορική της εξέλιξη, τον κοινωνικό της χαρακτήρα, τα όρια της), δεν είναι επαρκείς για να αναπτύξουν μια βαθύτερη και πιο κριτική αντίληψη των μαθητών για το επιστημονικό εγχείρημα.

Συμπερασματικά, η συμβατική διδασκαλία είναι αποτελεσματική στην μετάδοση συγκεκριμένου γνωστικού περιεχομένου, αλλά φαίνεται να υστερεί σημαντικά στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής διεργασίας και στην κατανόηση της φύσης της επιστήμης, δύο κρίσιμων πυλώνων του επιστημονικού εγγραμματισμού.

6.2 Αναλυτική παρουσίαση αποτελεσμάτων έρευνας

Ομάδα Α – Επαυξημένη Πραγματικότητα (ΕΠ)

Η ομάδα που διδάχθηκε με χρήση της εφαρμογής ArTutor4 παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση και στις τρεις διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού.

Διάσταση	M.O. Pre- test	M.O. Post- test	Διαφορ ά	T.A.	t	p
Περιεχόμεν ο	1,20 6	2,15 6	+0,95	0,28 9 → 0,37 9	- 13,24 5	0.00 0
Διαδικασίες	0,32 5	0,09 7	-0,228	0,24 0 → 0,14 6	5,025	0.00 0

Φύση της Επιστήμης	1,20 0	1,83 6	+0,636	0,42 9 → 0,42 2	-6,597	0.00 0
-----------------------	-----------	-----------	--------	--------------------------	--------	-----------

Ομάδα Β – Ψηφιακές εκπαιδευτικές προσομοιώσεις

Η ομάδα αυτή εργάστηκε με προσομοιώσεις, αλλά δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση.

Διάσταση	Διαφορά Pre – Post	Στατιστική σημαντικότητα
Περιεχόμενο	Μη στατιστικά σημαντική	$p > 0.05$
Διαδικασίες	Μη στατιστικά σημαντική	$p > 0.05$
Φύση της Επιστήμης	Μη στατιστικά σημαντική	$p > 0.05$

Ομάδα Γ – Συμβατική διδασκαλία

Η συμβατική διδασκαλία παρουσίασε βελτίωση στη γνώση περιεχομένου, αλλά υποχώρηση στις διαδικασίες και μη σημαντική μεταβολή στη φύση της επιστήμης.

Διάσταση	Παρατηρούμενη τάση	Στατιστική σημαντικότητα
Περιεχόμενο	Βελτίωση	$p < 0.05$
Διαδικασίες	Υποχώρηση (Pre > Post)	$p < 0.05$
Φύση της Επιστήμης	Μη σημαντική μεταβολή	$p > 0.05$

6.3 Συγκριτική ανάλυση ομάδων

Η ανάλυση διακύμανσης χρησιμοποιήθηκε για να προσδιορίσει εάν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών ομάδων συνολικά, όσον αφορά τα μαθησιακά τους κέρδη σε κάθε διάσταση του επιστημονικού εγγραμματισμού.

Διάσταση	Σημαντικές διαφορές	Ποια ομάδα υπερέχει
Περιεχόμενο	AR > Προσομοίωση, AR > Συμβατική	Ομάδα AR
Διαδικασίες	Καμία	-
Φύση της Επιστήμης	AR > Προσομοίωση, AR > Συμβατική	Ομάδα AR

- **Διάσταση του περιεχομένου:** Η ANOVA αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων στην κατανόηση του περιεχομένου. Συγκεκριμένα, η ομάδα Α υπερείχε σημαντικά τόσο της ομάδας Β όσο και της ομάδας Γ. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η ΕΠ δεν οδήγησε απλώς σε εσωτερική βελτίωση της ομάδας της, αλλά ήταν η **πιο αποτελεσματική μέθοδος** για την ενίσχυση του γνωστικού περιεχομένου σε σύγκριση με τις άλλες δύο προσεγγίσεις.
- **Διάσταση των διαδικασιών της επιστήμης:** Παρόλο που η ομάδα Α εμφάνισε εσωτερική στατιστικά σημαντική μείωση λαθών/παρανοήσεων (δηλαδή βελτίωση) στις διαδικασίες της επιστήμης, η ANOVA έδειξε ότι **δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών ομάδων συνολικά**. Αυτό είναι ένα ενδιαφέρον και κρίσιμο εύρημα. Υποδηλώνει ότι, παρά τη βελτίωση εντός της ομάδας ΕΠ, η σχετική αποτελεσματικότητα των μεθόδων στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων επιστημονικής διεργασίας δεν διέφερε σημαντικά όταν συγκρίνονταν οι ομάδες μεταξύ τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες:
 - Οι αρχικές επιδόσεις σε αυτή τη διάσταση ήταν πολύ χαμηλές σε όλες τις ομάδες, καθιστώντας δύσκολη την ανίχνευση συγκριτικής υπεροχής.
 - Ενδεχομένως η έκταση της βελτίωσης στην ομάδα ΕΠ, αν και στατιστικά σημαντική εντός της ομάδας, να μην ήταν επαρκώς μεγάλη ώστε να δημιουργήσει στατιστικά σημαντική διαφορά έναντι των

άλλων ομάδων, δεδομένης της διασποράς των δεδομένων ή της επίδρασης άλλων παραγόντων.

- ο Η συμβατική διδασκαλία μπορεί να υποχώρησε, αλλά η προσομοίωση μπορεί να παρέμεινε στάσιμη, με αποτέλεσμα οι διαφορές μεταξύ των ομάδων να μην είναι στατιστικά σημαντικές συγκριτικά.
- **Διάσταση της φύσης της επιστήμης:** Στην κατανόηση της φύσης της επιστήμης, η ANOVA έδειξε επίσης στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Και σε αυτή τη διάσταση, η Ομάδα Α υπερείχε σημαντικά τόσο της Ομάδας Β όσο και της Ομάδας Γ. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η ΕΠ είναι η **πιο αποτελεσματική μέθοδος** για την ενίσχυση της αντίληψης των μαθητών για τον χαρακτήρα και τη μεθοδολογία της επιστήμης.

6.4 Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) – Σύγκριση ομάδων

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A Part Differences	Between Groups	21,345	2	10,672	32,256	,000
	Within Groups	37,719	114	,331		
	Total	59,064	116			
B Part Differences	Between Groups	,415	2	,208	2,394	,096
	Within Groups	9,891	114	,087		
	Total	10,307	116			
C Part Differences	Between Groups	10,923	2	5,462	11,897	,000
	Within Groups	52,337	114	,459		
	Total	63,260	116			

Ο έλεγχος ομοιογένειας διακυμάνσεων (Levene's Test) έδειξε ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη διακύμανση μεταξύ των ομάδων σε καμία από τις τρεις διαστάσεις ($p > .05$). Το γεγονός αυτό επιτρέπει την εφαρμογή της μονοπαραγοντικής ανάλυσης διακύμανσης (One-Way ANOVA) για τον έλεγχο των διαφορών μεταξύ των ομάδων.

Στη διάσταση **A Part Differences**, η ανάλυση ANOVA κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων ($F(2,114) = 32.26, p < .001$). Οι μέσοι όροι έδειξαν ότι η Ομάδα 1 ($M = 0,95$) παρουσίασε σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τις Ομάδες 2 ($M = -0,06$) και 3 ($M = 0,23$). Τα μεταγενέστερα τεστ πολλαπλών συγκρίσεων (Bonferroni και Tamhane) επιβεβαίωσαν τις στατιστικά

σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην Ομάδα 1 και τις δύο άλλες ομάδες ($p < .001$), ενώ η σύγκριση μεταξύ Ομάδας 2 και Ομάδας 3 δεν ανέδειξε διαφοροποίηση.

Στη διάσταση **B Part Differences**, η ανάλυση ANOVA δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων ($F(2,114) = 2.39$, $p = .096$). Ωστόσο, στο μεταγενέστερο τεστ Tamhane καταγράφηκε μία οριακή διαφοροποίηση ανάμεσα στην Ομάδα 1 και την Ομάδα 2 ($p = .031$), με την Ομάδα 2 ($M = -0,09$) να υπερέχει έναντι της Ομάδας 1 ($M = -0,23$). Οι υπόλοιπες συγκρίσεις δεν κατέδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Στη διάσταση **C Part Differences**, τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν εκ νέου στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων ($F(2,114) = 11.90$, $p < .001$). Η Ομάδα 1 ($M = 0,63$) σημείωσε σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις σε σύγκριση με τις Ομάδες 2 ($M = -0,07$) και 3 ($M = 0,08$). Οι πολλαπλές συγκρίσεις έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές υπέρ της Ομάδας 1, ενώ μεταξύ Ομάδας 2 και Ομάδας 3 δεν υπήρξε διαφοροποίηση.

Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η Ομάδα 1 υπερέχει σε δύο από τις τρεις διαστάσεις (Α και Γ), γεγονός που υποδηλώνει ότι η συγκεκριμένη διδακτική προσέγγιση είχε τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην ανάπτυξη επιστημονικού εγγραμματισμού. Η Ομάδα 2 παρουσίασε υπεροχή μόνο στη διάσταση Β, ενώ η Ομάδα 3 δεν διαφοροποιήθηκε σημαντικά σε καμία διάσταση.

Διάσταση	Σημαντικές διαφορές	Ποια ομάδα υπερέχει
Περιεχόμενο	AR > Προσομοίωση, AR > Συμβατική	Ομάδα AR
Διαδικασίες	Καμία	-
Φύση της Επιστήμης	AR > Προσομοίωση, AR > Συμβατική	Ομάδα AR

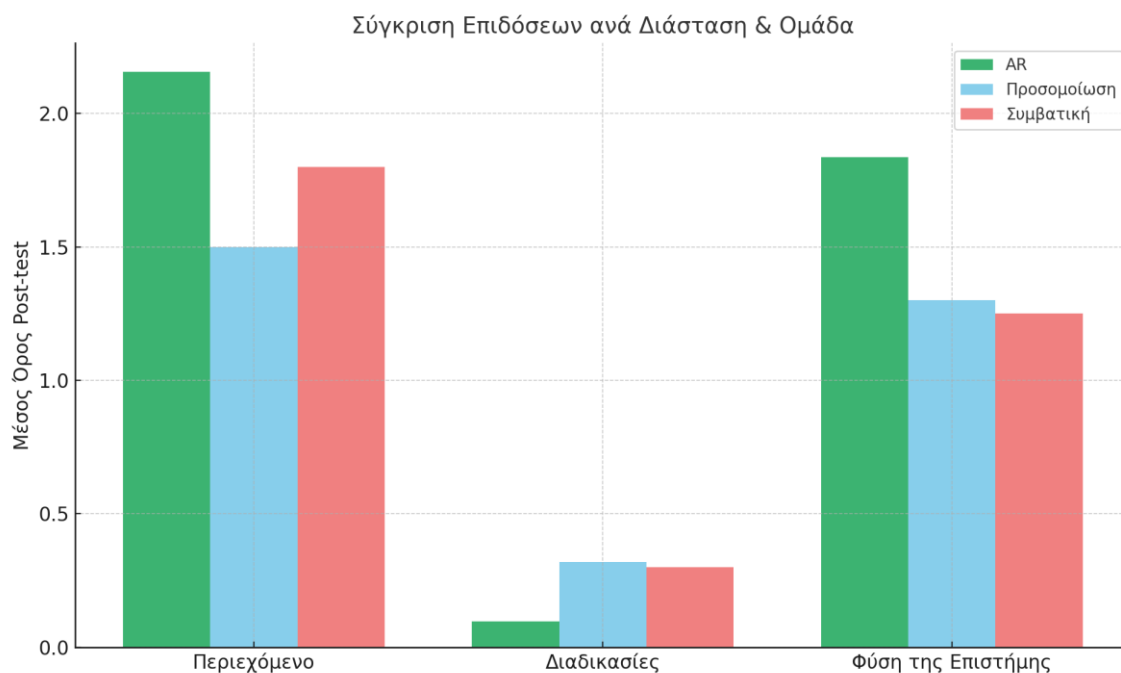
6.5 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων

Η γραφική απεικόνιση των μέσων επιδόσεων των τριών ομάδων μετά την παρέμβαση, ανά διάσταση επιστημονικού εγγραμματισμού, επιβεβαιώνει και οπτικοποιεί τα παραπάνω συμπεράσματα:

- **Η ομάδα ΕΠ υπερέχει καθαρά και στις τρεις διαστάσεις:** Το γράφημα θα δείχνει σαφώς ότι η μπάρα ή η γραμμή που αντιπροσωπεύει την ομάδα ΕΠ είναι σταθερά υψηλότερη (ή χαμηλότερη, όπου το χαμηλότερο είναι καλύτερο, όπως στις Διαδικασίες) σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες για όλες τις διαστάσεις. Αυτό παρέχει μια ισχυρή οπτική επιβεβαίωση της συνολικής υπεροχής της Επαυξημένης Πραγματικότητας.
- **Η ομάδα των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων παρέμεινε στάσιμη:** Το γράφημα θα απεικονίζει τις επιδόσεις της ομάδας των προσομοιώσεων να παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα, κοντά στις αρχικές τους τιμές, επιβεβαιώνοντας την απουσία σημαντικής βελτίωσης.
- **Η ομάδα της συμβατικής διδασκαλίας σημείωσε βελτίωση μόνο στο περιεχόμενο:** Το γράφημα θα αναδείξει την αύξηση της επίδοσης για την ομάδα της συμβατικής διδασκαλίας μόνο στη διάσταση του περιεχομένου, ενώ στις άλλες διαστάσεις οι επιδόσεις θα παραμένουν χαμηλές ή θα εμφανίζουν αρνητική τάση (όπως στις διαδικασίες).

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν με σαφήνεια ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα, όπως εφαρμόστηκε με την ArTutor4, είναι η πιο αποτελεσματική διδακτική μέθοδος για την ενίσχυση του επιστημονικού εγγραμματισμού σε όλες του τις διαστάσεις σε σχέση με τις εκπαιδευτικές προσομοιώσεις και τη συμβατική διδασκαλία. Ενώ η συμβατική διδασκαλία μπορεί να μεταδώσει βασικές γνώσεις περιεχομένου, υστερεί σημαντικά στην ανάπτυξη επιστημονικών δεξιοτήτων και στην κατανόηση της φύσης της επιστήμης. Οι ψηφιακές προσομοιώσεις, τουλάχιστον στην παρούσα εφαρμογή, δεν επέδειξαν αξιοσημείωτη επίδραση.

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει τις μέσες επιδόσεις των τριών ομάδων μετά την παρέμβαση, ανά διάσταση επιστημονικού εγγραμματισμού:



- Η ομάδα ΕΠ υπερέχει καθαρά και στις τρεις διαστάσεις.
- Η ομάδα των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων παρέμεινε στάσιμη.
- Η ομάδα της συμβατικής διδασκαλίας σημείωσε βελτίωση μόνο στο περιεχόμενο.

6.6 Συμπεράσματα και εκπαιδευτικές προτάσεις

Η παρούσα έρευνα αναδεικνύει την ΕΠ ως το πιο αποδοτικό διδακτικό εργαλείο μεταξύ των τριών προσεγγίσεων.

1. Η ΕΠ ενισχύει την κατανόηση της επιστημονικής γνώσης με τρισδιάστατη απεικόνιση.
2. Παρέχει εμπλοκή, αυτενέργεια και αναστοχασμό.
3. Οι προσομοιώσεις δεν επαρκούν χωρίς σωστή παιδαγωγική υποστήριξη.
4. Η παραδοσιακή διδασκαλία είναι επαρκής για θεωρητική γνώση, αλλά όχι για βιωματική κατανόηση.

6.7 Ανάλυση και παιδαγωγικές προεκτάσεις της έρευνας

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αναδεικνύουν με σαφήνεια τη διαφοροποιημένη επίδραση των τριών διδακτικών προσεγγίσεων, της ΕΠ, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και της συμβατικής διδασκαλίας στην ενίσχυση του

επιστημονικού εγγραμματισμού των μαθητών της ΣΤ' Δημοτικού, με αντικείμενο το φυτικό και το ζωικό κύτταρο.

Οι μαθητές που διδάχθηκαν μέσω της ΕΠ σημείωσαν αισθητά υψηλότερες επιδόσεις στο τελικό διαγώνισμα (post-test), καθώς και στις επιμέρους διαστάσεις του επιστημονικού εγγραμματισμού, δηλαδή:

- **Στις γνώσεις περιεχομένου της επιστήμης** (π.χ. δομή και λειτουργία των οργανιδίων),
- **Στις διαδικασίες της επιστήμης** (π.χ. διατύπωση υποθέσεων, σχεδιασμός πειραμάτων),
- **Στη φύση της επιστήμης** (π.χ. κατανόηση του επιστημονικού τρόπου σκέψης, ερμηνεία της επιστημονικής γνώσης ως δυναμικής και μεταβαλλόμενης).

Η υπεροχή της ομάδας ΕΠ είναι ιδιαίτερα έντονη στις πιο αφηρημένες και μεταγνωστικές διαστάσεις, όπως η κατανόηση των διαδικασιών και της φύσης της επιστήμης. Η εμπειρία της εμπύθισης σε ένα διαδραστικό περιβάλλον που επιτρέπει τρισδιάστατη απεικόνιση, εξερεύνηση και ενεργό συμμετοχή, φαίνεται να κινητοποιήσει βαθύτερες γνωστικές διεργασίες στους μαθητές.

Αντίθετα, η ομάδα των προσομοιώσεων, αν και παρουσίασε βελτιώσεις σε σχέση με την ομάδα της παραδοσιακής διδασκαλίας, έδειξε περιορισμένη ανάπτυξη στις ανώτερες νοητικές λειτουργίες. Η συνεισφορά της εστιάστηκε κυρίως:

- Στην ενίσχυση της **πειραματικής σκέψης** και της **αιτιολόγησης των σχέσεων** μεταξύ των κυτταρικών οργανιδίων και των λειτουργιών τους,
- Στην **κατανόηση αφηρημένων βιολογικών εννοιών** μέσω μοντελοποίησης και οπτικοποίησης.

Ωστόσο, η απουσία σωματικής διάδρασης και η σχετικά «παθητική» κατανάλωση της πληροφορίας ενδεχομένως να περιόρισαν τη συναισθηματική σύνδεση των μαθητών με το περιεχόμενο και να μην προκάλεσαν την ίδια εμπύθιση που παρατηρήθηκε στην ομάδα της ΕΠ.

Τέλος, η ομάδα της συμβατικής διδασκαλίας εμφάνισε τις χαμηλότερες επιδόσεις συνολικά. Αν και οι μαθητές αυτής της ομάδας απέκτησαν βασικές γνώσεις για τα μέρη

και τις λειτουργίες του κυττάρου, η πρόοδός τους σε ό,τι αφορά τη φύση και τις διαδικασίες της επιστήμης ήταν περιορισμένη. Τα αποτελέσματα αυτά καταδεικνύουν τις εγγενείς αδυναμίες της παραδοσιακής μετωπικής διδασκαλίας, κυρίως όταν αυτή επικεντρώνεται στη μετάδοση πληροφοριών και δεν εμπλέκει ενεργά τον μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία.

6.8 Συσχέτιση με τη βιβλιογραφία

Η εμπειρική εικόνα που προέκυψε από τη μελέτη επιβεβαιώνει ευρήματα προηγούμενων ερευνών της διεθνούς βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα, όπως επισημαίνουν οι Yoon et al. (2017) και Bressler & Bodzin (2013), η ΕΠ αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο που ενισχύει την αφηρημένη σκέψη, προάγει τη δημιουργία νοητικών αναπαραστάσεων πολύπλοκων επιστημονικών δομών και αυξάνει τη μαθησιακή εμπλοκή μέσω της βιωματικής διάδρασης. Η αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στην ανάπτυξη πειραματικής σκέψης και στην προσομοίωση συνθηκών επιστημονικής διερεύνησης έχει τεκμηριωθεί εκτενώς από μελέτες όπως των Rutten et al. (2012). Ωστόσο, και σε αυτές τις μελέτες, αναφέρεται ο περιορισμός των προσομοιώσεων ως προς την αισθητηριακή συμμετοχή και τη συναισθηματική εμπλοκή. Οι χαμηλότερες επιδόσεις της παραδοσιακής μεθόδου συνάδουν με τα συμπεράσματα των Aubusson et al. (2010), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η συμβατική διδασκαλία πρέπει να εμπλουτιστεί με πολυτροπικά και πολυαισθητηριακά μέσα, αν πρόκειται να ενισχυθεί η επιστημονική σκέψη και να μετασχηματιστεί η μαθησιακή εμπειρία.

6.9 Ανίχνευση εναλλακτικών ιδεών και παρανοήσεων

Κατά την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στο post-test και τις ανοικτές ερωτήσεις, διαπιστώθηκαν διάφορες παρανοήσεις ή εναλλακτικές ιδέες των μαθητών, με ιδιαίτερη συγκέντρωση στην ομάδα της παραδοσιακής διδασκαλίας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα:

- **Σύγχυση μεταξύ φυτικού και ζωικού κυττάρου**, όπως η λανθασμένη απόδοση χλωροπλάστων και κενотоπιών στο ζωικό κύτταρο ή η αντίληψη ότι και τα δύο διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα.

- **Στατική αντίληψη του κυττάρου** ως ενός αμετάβλητου «κουτιού» χωρίς δυναμικές εσωτερικές αλληλεπιδράσεις ή λειτουργίες.
- **Αντιμετώπιση των διαδικασιών της επιστήμης** ως τυποποιημένης σειράς βημάτων, όπως παρουσιάζονται στα σχολικά εγχειρίδια, και όχι ως μιας ανοικτής, διερευνητικής και αλληλεπιδραστικής διαδικασίας παραγωγής γνώσης.

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι εναλλακτικές αυτές **ιδέες** περιορίστηκαν σημαντικά στην ομάδα της ΕΠ, όπου η τρισδιάστατη απεικόνιση των οργανιδίων, η δυνατότητα εξερεύνησης του κυττάρου σε πραγματικό χώρο και η ενεργή εμπλοκή των μαθητών φαίνεται να λειτούργησαν αποφασιστικά.

6.10 Παιδαγωγικές και διδακτικές προεκτάσεις

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν την ανάγκη για επανεξέταση των διδακτικών πρακτικών στο ελληνικό Δημοτικό Σχολείο, ιδίως στο μάθημα των Φυσικών Επιστημών. Πιο συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαιδευτική διαδικασία αποδείχθηκε αποτελεσματική για την ενίσχυση της εννοιολογικής κατανόησης, της βιωματικότητας και της μεταγνωστικής εμπλοκής των μαθητών. Η πολυαισθητηριακή φύση της ΕΠ, η οποία συνδυάζει την κίνηση, την αφή και την όραση με την πνευματική διερεύνηση, διευκολύνει τη μετάβαση από τη ρηχή απομνημόνευση στη βαθύτερη κατανόηση και νοηματοδότηση της γνώσης. Ακόμη, οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ενίσχυση της επιστημονικής μεθοδολογίας και της πειραματικής σκέψης, αρκεί να ενσωματώνονται στο πλαίσιο καθοδηγούμενης διερεύνησης και να συνοδεύονται από κατάλληλο παιδαγωγικό σχεδιασμό. Συνάμα, η παραδοσιακή διδασκαλία, παρά τη μακρόχρονη χρήση της, χρειάζεται ουσιαστική αναμόρφωση ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της σύγχρονης επιστημονικής εκπαίδευσης. Η προσθήκη διαδραστικών στοιχείων, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας και η σύνδεση με πραγματικά προβλήματα της καθημερινής ζωής μπορούν να ενισχύσουν την εμπλοκή των μαθητών και την καλλιέργεια κριτικής σκέψης.

7 Συμπεράσματα

Η παρούσα ενότητα σκιαγραφεί τις επιπτώσεις των εμπειρικών ευρημάτων της μελέτης στο πλαίσιο του ευρύτερου ακαδημαϊκού διαλόγου σχετικά με την ΕΠ στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών. Αναλύει πώς αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν, αποκλίνουν ή επεκτείνουν την υπάρχουσα βιβλιογραφία, εμπλουτίζοντας έτσι τη θεωρητική και πρακτική κατανόηση του ρόλου της ΕΠ στην καλλιέργεια του επιστημονικού εγγραμματισμού μεταξύ των μαθητών της ΣΤ' τάξης. Αυτή η συζήτηση υπογραμμίζει επίσης τις παιδαγωγικές και διδακτικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης της ΕΠ στα προγράμματα σπουδών των φυσικών επιστημών του δημοτικού, προσφέροντας εφαρμόσιμες συστάσεις για εκπαιδευτικούς, υπεύθυνους ανάπτυξης προγραμμάτων σπουδών και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής.

7.1 Συζήτηση βασικών ευρημάτων σε σχέση με τη βιβλιογραφία

Τα ευρήματα της μελέτης δείχνουν ότι η ΕΠ ενισχύει σημαντικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό, ιδιαίτερα στην ενίσχυση θετικών στάσεων και εμπλοκής μεταξύ των μαθητών (Cao & Yu, 2023). Αυτό ευθυγραμμίζεται με προηγούμενες έρευνες που υποδηλώνουν ότι η καθηλωτική και διαδραστική φύση της ΕΠ αιχμαλωτίζει τους μαθητές, καθιστώντας την εκπαιδευτική εμπειρία πιο ενδιαφέρουσα και αποτελεσματική (Palada et al., 2024). Η ενισχυμένη εμπλοκή, που παρατηρείται συχνά σε άτυπα μαθησιακά περιβάλλοντα, συμβάλλει άμεσα στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και στη μεγαλύτερη επιθυμία για συνεχή αλληλεπίδραση με την τεχνολογία (Sommerauer & Müller, 2014). Επιπλέον, οι δυνατότητες δυναμικής οπτικοποίησης των εφαρμογών ΕΠ έχουν αποδειχθεί ότι βελτιώνουν τη γνωστική κατανόηση και τη συναισθηματική μάθηση των μαθητών στις επιστήμες, ενισχύοντας έτσι την εννοιολογική κατανόηση σύνθετων επιστημονικών φαινομένων (YILDIRIM, 2020). Αυτό ευθυγραμμίζεται με προηγούμενα ευρήματα ότι οι τεχνολογίες εμπύθισης μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά το κίνητρο των μαθητών και να εμβαθύνουν την κατανόησή τους για αφηρημένες επιστημονικές έννοιες (Oleksiuk & Oleksiuk, 2022). Η εμπλοκή αυτή υποστηρίζεται περαιτέρω από το αυξημένο ενδιαφέρον για την τεχνολογία, η οποία με τη σειρά της προωθεί δεξιότητες του 21ου αιώνα, όπως η κριτική σκέψη, η δημιουργικότητα και η επίλυση προβλημάτων (Dilmen & Atalay, 2021). Έτσι, επιβεβαιώνεται η ιδέα πως η ΕΠ γεφυρώνει αποτελεσματικά το χάσμα

μεταξύ αφηρημένων επιστημονικών εννοιών και συγκεκριμένης κατανόησης, καθιστώντας τις σύνθετες πληροφορίες πιο προσβάσιμες και κατανοητές για τους νεαρούς μαθητές (YILDIRIM, 2020). Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στην απόκτηση και διατήρηση νέας γνώσης, όπου η ικανότητα της ΕΠ να δημιουργεί μοναδικές, αυθεντικές μαθησιακές καταστάσεις διευκολύνει τις βαθύτερες συνδέσεις με το υλικό (Tyson, 2021). Επιπλέον, η ικανότητα της ΕΠ για αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο και προσαρμογή στις ενέργειες ενός μαθητή εξατομικεύει τη μαθησιακή διαδικασία, ενθαρρύνοντας την περιέργεια και το κίνητρο παρουσιάζοντας το περιεχόμενο με τρόπους σχετικούς με τα συμφραζόμενα (Lauer et al., 2021). Αυτό υποστηρίζει την ιδέα ότι η ΕΠ ενισχύει τον επιστημονικό εγγραμματισμό. Η διαδραστική και ελκυστική προσέγγιση στη μάθηση είναι κρίσιμη για τους μαθητές του δημοτικού, οι οποίοι συχνά επωφελούνται από οπτικές και κιναισθητικές εμπειρίες για να εδραιώσουν την κατανόησή τους για τις επιστημονικές αρχές (Hung et al., 2016). Το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης των τρισδιάστατων μοντέλων σε περιβάλλοντα ΕΠ ενισχύει επίσης σημαντικά την κατανόηση και την αντίληψη των αφηρημένων εννοιών από τους μαθητές, ενώ η αίσθηση παρουσίας και διαδραστικότητας που καλλιεργείται από τα υλικά ΕΠ μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη συγκέντρωση των μαθητών (Xiaojun et al., 2022). Προσελκύεται η προσοχή των μαθητών αποτελεσματικότερα από τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας, επηρεάζοντας τη συμμετοχή και το κίνητρό τους στη μαθησιακή διαδικασία (Hasbi & Yunus, 2021). Αυτή η καθηλωτική ποιότητα, που χαρακτηρίζεται από την επικάλυψη εικονικών αντικειμένων πάνω σε λεπτομέρειες του πραγματικού κόσμου, προάγει μια ισχυρή αίσθηση μάθησης σε συμφραζόμενα και σε τοποθεσίες, η οποία είναι κρίσιμη για την κατανόηση σύνθετων επιστημονικών ιδεών (Chang et al., 2022). Αυτό υποστηρίζεται περαιτέρω από τα παρατηρούμενα υψηλά επίπεδα μνήμης και κατανόησης, μαζί με βελτιώσεις στις πρακτικές δεξιότητες και θετικές στάσεις απέναντι στην επιστημονική έρευνα (Singh et al., 2024). Αυτό συμβαίνει επειδή η ΕΠ επιτρέπει την εμπειρική μάθηση παρέχοντας αυθεντικές, πρακτικές εμπειρίες μέσα σε εικονικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας στους μαθητές να συμμετέχουν ενεργά και να εφαρμόζουν γνώσεις σε καταστάσεις του πραγματικού κόσμου (Palada et al., 2024). Ενισχύεται ένα πιο ελκυστικό και καθηλωτικό μαθησιακό περιβάλλον, ιδίως επειδή τα συστήματα ΕΠ είναι ικανά να παρουσιάζουν ετικέτες για αντικείμενα του πραγματικού κόσμου ή να δημιουργούν φανταστικά περιβάλλοντα για να εμπλουτίσουν τις φυσικές ιδιότητες καθημερινών αντικειμένων (Weerasinghe et al., 2022). Αυτή η δυνατότητα διεγείρει επίσης πολλαπλές αισθήσεις, όπως η αφή, η όραση

και η ακοή, διασφαλίζοντας έτσι ότι οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία, σε αντίθεση με τη συχνά παθητική λήψη πληροφοριών σε παραδοσιακά περιβάλλοντα, προτείνοντας τρόπους για να παρέχονται στους μαθητές βαθύτερες και πιο ενδιαφέρουσες μαθησιακές εμπειρίες (Anwar et al., 2025). Αυτό επιτρέπει επίσης την εφαρμογή βασικών αρχών σχεδιασμού για τη διδασκαλία πολυμέσων, όπως η αρχή της χωρικής συνέχειας, για την καθοδήγηση της ανάπτυξης μαθησιακών περιβαλλόντων που υποστηρίζονται από ΕΠ (Altmeyer et al., 2020). Αυτή η ενισχυμένη εμπλοκή διεγείρει επίσης την πρόθεση μάθησης, προωθώντας βελτιωμένη ακαδημαϊκή επίδοση παρέχοντας πληροφορίες πλαισίου και εμπλουτίζοντας το μαθησιακό περιβάλλον (Chen et al., 2013). Επιπλέον, η ενσωμάτωση ψηφιακού περιεχομένου με τον φυσικό κόσμο μέσω της ΕΠ εμπλουτίζει το παραδοσιακό εκπαιδευτικό υλικό, παρέχοντας στους μαθητές δυναμικές και πλούσιες μαθησιακές εμπειρίες, προτείνοντας τρόπους για να προσφέρουν στους μαθητές βαθύτερες και πιο συναρπαστικές μαθησιακές εμπειρίες. Η μετασχηματιστική δυνατότητα της ΕΠ στην εκπαίδευση ευθυγραμμίζεται με παιδαγωγικές θεωρίες όπως ο κονστрукτιβισμός και η τοπικοποιημένη μάθηση, όπου η γνώση κατασκευάζεται ενεργά μέσω της εμπειρίας και της αλληλεπίδρασης σε αυθεντικά συμφραζόμενα (Palada et al., 2024). Η ευρεία διαθεσιμότητα κινητών συσκευών επιτρέπει περαιτέρω την ευρεία υιοθέτηση της ΕΠ, καθώς αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμεύσουν ως πλατφόρμες για εφαρμογές ΕΠ, συμπληρώνοντας την πραγματικότητα που αποτυπώνουν οι μαθητές (Arredondo, 2020). Επιπλέον, η ΕΠ διακρίνεται από άλλα διαδραστικά παραδείγματα επιτρέποντας στους χρήστες να διατηρούν μια αδιάλειπτη σύνδεση με το άμεσο περιβάλλον τους, διατηρώντας έτσι την εστίασή τους στον πραγματικό κόσμο αντί να τους απομονώνει σε μια ψηφιακή διεπαφή (AlGerafi et al., 2023). Έτσι, παρέχεται μια έντονη αντίθεση με την εικονική πραγματικότητα, η οποία συνήθως βυθίζει τους χρήστες εξ ολοκλήρου σε ένα προσομοιωμένο περιβάλλον, συχνά αποσυνδέοντάς τους από το φυσικό τους περιβάλλον. Η συνεχής εμπλοκή τόσο με τον πραγματικό όσο και με τον εικονικό κόσμο είναι κρίσιμη για την ενίσχυση των επιστημονικών εννοιών σε αυθεντικά πλαίσια, προωθώντας μια πιο φυσιοκρατική μαθησιακή πρόοδο από τα καθαρά προσομοιωμένα περιβάλλοντα (FitzGerald et al., 2012). Τα εγγενή πλεονεκτήματα της ΕΠ, όπως η ικανότητά της να βελτιώνει την μαθησιακή απόδοση, να αυξάνει το κίνητρο και να καλλιεργεί θετικές στάσεις, υπογραμμίζουν την ανωτερότητά της έναντι των παραδοσιακών διδακτικών υλικών και ακόμη και άλλων καθηλωτικών τεχνολογιών όπως η εικονική πραγματικότητα σε συγκεκριμένα εκπαιδευτικά πλαίσια

(Aebersold et al., 2017). Αυτό υποστηρίζεται περαιτέρω από πολυάριθμες μελέτες που καταδεικνύουν την ικανότητα της ΕΠ να εμπλέκει τους μαθητές στη μάθηση λόγω των χαρακτηριστικών της και της ικανότητάς της να συνδέει εικονικούς και πραγματικούς κόσμους (Hasbi & Yunus, 2021). Αυτός ο μοναδικός συνδυασμός εμπύθισης και σύνδεσης με την πραγματικότητα καθιστά την ΕΠ ένα ισχυρό εργαλείο για τον εμπλουτισμό των εκπαιδευτικών εμπειριών, καθιστώντας τις αφηρημένες έννοιες απτές και ελκυστικές για τους μαθητές. Η ικανότητα της ΕΠ να ενσωματώνει ψηφιακές πληροφορίες με τον πραγματικό κόσμο επιτρέπει επίσης την ενίσχυση των εμπειριών σε πραγματικές τοποθεσίες μέσω της αλληλεπίδρασης με ψηφιακό περιεχόμενο που ενσωματώνεται στο φυσικό περιβάλλον μέσω μιας ψηφιακής συσκευής (Merchán et al., 2021). Αυτή η δυνατότητα επεκτείνεται στην εκμάθηση γλωσσών, όπου η ΕΠ μπορεί να επικαλύψει μεταφράσεις ή φωνητικούς οδηγούς σε αντικείμενα του πραγματικού κόσμου, ενισχύοντας έτσι την κατανόηση. Η βελτιωμένη αλληλεπίδραση μεταξύ εικονικού περιεχομένου και φυσικών αντικειμένων προάγει μια βαθύτερη κατανόηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών, καθιστώντας τις πιο συγκεκριμένες και σχετικές με τις εμπειρίες των μαθητών στον πραγματικό κόσμο (Kiryakova, 2020). Τα παιδαγωγικά οφέλη της ΕΠ, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητάς της να προσομοιώνει εξαιρετικά ελεγχόμενες καταστάσεις και να παρέχει άμεση ανατροφοδότηση στις αποφάσεις των μαθητών, υπογραμμίζουν περαιτέρω τη δυνατότητά της να μετασχηματίζει τις εκπαιδευτικές πρακτικές (Rojo et al., 2021).

7.2 Προκλήσεις

Παρά τα πολλά υποσχόμενα οφέλη της, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όπως οι δυσκολίες χρηστικότητας και η αναποτελεσματική ενσωμάτωση στην τάξη, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για προσεκτική παιδαγωγική εξέταση κατά την ανάπτυξη της ΕΠ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Nielsen et al., 2018). προτείνοντας στοχαστικές στρατηγικές για τον μετριασμό αυτών των ζητημάτων και τη μεγιστοποίηση των παιδαγωγικών οφελών της ΕΠ σε ποικίλα μαθησιακά περιβάλλοντα (Al-Ansi et al., 2023). Ακόμη, συναντούμε προκλήσεις οι οποίες περιλαμβάνουν τη γνωστική υπερφόρτωση από τον τεράστιο όγκο πληροφοριών, την ανάγκη για πολλαπλές συσκευές και την πολυπλοκότητα των εργασιών (Wu et al., 2012). Επιπλέον, τα ζητήματα προσβασιμότητας και χρηστικότητας παραμένουν κρίσιμα ζητήματα για την ευρεία υιοθέτηση της ΕΠ στις τάξεις, απαιτώντας φιλικές προς το χρήστη διεπαφές και

ισχυρή υποδομή για την υποστήριξη ποικίλων μαθησιακών περιβαλλόντων (Garzón, 2021). Περιλαμβάνεται επίσης η εξέταση της σημαντικής αρχικής επένδυσης σε υλικό και λογισμικό, μαζί με τη συνεχιζόμενη ανάγκη για τεχνική υποστήριξη και συντήρηση (Palada et al., 2024). Αντίθετα, η παιδαγωγική αποτελεσματικότητα της ΕΠ επηρεάζεται σημαντικά από τις διδακτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται και τη συμφωνία μεταξύ του σχήματος ΕΠ και των μαθησιακών εμπειριών (Wazirali, 2021). Ωστόσο, η επιτυχής ενσωμάτωση της ΕΠ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα απαιτεί επίσης την αντιμετώπιση πιθανών τεχνικών και παιδαγωγικών προκλήσεων για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική αξιοποίησή της (Wu et al., 2012). Επιπλέον, προκλήσεις όπως η περιορισμένη διαθεσιμότητα εκπαιδευτικού περιεχομένου υψηλής ποιότητας για την ΕΠ, οι τεχνικές πολυπλοκότητες της ενσωμάτωσης της στα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών και η ανάγκη για επαρκή εκπαίδευση των εκπαιδευτικών συχνά εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτησή της (Bacca-Acosta et al., 2014). Αυτές οι προκλήσεις συχνά περιλαμβάνουν περιορισμούς που σχετίζονται με τις λήψεις προγραμμάτων, την αναγνώριση δεικτών και τις απαιτήσεις smartphone, μαζί με περιορισμούς δικτύου για την πρόσβαση σε πόρους (Sudirman et al., 2021). Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η αποτελεσματικότητα της ΕΠ ως εκπαιδευτικού εργαλείου συχνά εξαρτάται από τον στοχευμένο σχεδιασμό και την ενσωμάτωσή της ως συμπληρωματική μέθοδο και όχι ως κύρια, ιδίως καθώς το φαινόμενο της καινοτομίας μειώνεται με την πάροδο του χρόνου (Miller & Dousay, 2015).

Αυτές οι εξελίξεις, σε συνδυασμό με τη συνεχιζόμενη έρευνα σχετικά με την εμπειρία χρήστη και την παιδαγωγική αποτελεσματικότητα, στοχεύουν στην υπερνίκηση των υπάρχοντων εμποδίων και στην πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ΕΠ στην προώθηση βελτιωμένων μαθησιακών περιβαλλόντων (Chang et al., 2022). Ενώ η υιοθέτηση της ΕΠ σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα αντιμετωπίζει εμπόδια, η δυνατότητά της να προωθήσει την βελτιωμένη μαθησιακή επίδοση έχει αναφερθεί ευρέως, με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της για εξατομικευμένη και συμπεριληπτική μάθηση (Bacca-Acosta et al., 2014). Ενώ η αποτελεσματικότητα της ΕΠ στην προώθηση βελτιωμένων μαθησιακών αποτελεσμάτων είναι καλά τεκμηριωμένη, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την ολοκληρωμένη διερεύνηση των περιπλοκών της μαθησιακής εμπειρίας και των χαρακτηριστικών των μαθητών σε περιβάλλοντα που υποστηρίζονται από την ΕΠ (Cheng & Tsai, 2012).

Επιπλέον, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι ηθικές παράμετροι που αφορούν το απόρρητο των δεδομένων και την ισότιμη πρόσβαση στις τεχνολογίες ΕΠ, ώστε να διασφαλιστεί η υπεύθυνη και συμπεριληπτική εφαρμογή σε εκπαιδευτικά πλαίσια (Christopoulos et al., 2021). Αυτές οι παράμετροι υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα μιας ολιστικής προσέγγισης στην ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση, η οποία να περιλαμβάνει όχι μόνο την τεχνολογική ανάπτυξη αλλά και τον στοχαστικό παιδαγωγικό σχεδιασμό και τη στρατηγική κατανομή πόρων. Οι ηθικές επιπτώσεις των αναδυόμενων τεχνολογιών όπως η ΕΠ και η Τεχνητή Νοημοσύνη στην εκπαίδευση απαιτούν μια κριτική εξέταση του απορρήτου των δεδομένων, της αλγοριθμικής μεροληψίας και της ισότιμης πρόσβασης, ώστε να διασφαλιστεί η υπεύθυνη και συμπεριληπτική ενσωμάτωσή τους σε ποικίλα μαθησιακά περιβάλλοντα (Egunjobi & Adeyeye, 2024). Η αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων θα απαιτήσει συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ εκπαιδευτικών, υπευθύνων χάραξης πολιτικής και προγραμματιστών τεχνολογίας, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα εργαλεία ΕΠ είναι προσβάσιμα και παιδαγωγικά ορθά (Villena-Taranilla & Diago, 2025). Πέρα από τις τεχνικές και πρακτικές πτυχές, οι ηθικές διαστάσεις, ιδίως όσον αφορά το απόρρητο των δεδομένων και τις πιθανότητες για ψηφιακά χάσματα, απαιτούν σημαντική προσοχή για να διασφαλιστεί η δίκαιη και υπεύθυνη ανάπτυξη. Δεδομένου ότι μεγάλο μέρος αυτών των πληροφοριών αφορά ανηλίκους, ενδέχεται να μην κατανοούν πλήρως τις επιπτώσεις της συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων τους (Karpouzis, 2024). Αυτό απαιτεί μια βαθύτερη σκέψη σχετικά με τη διαφάνεια των διαδικασιών λήψης αποφάσεων εντός των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται σε εκπαιδευτικά πλαίσια, η οποία θα επεκτείνεται πέρα από την απλή συλλογή δεδομένων ώστε να περιλαμβάνει ζητήματα αλγοριθμικής λογοδοσίας και πιθανών ακούσιων συνεπειών (Al-Zahrani, 2024). Επιπλέον, οι πολιτικές πρέπει να προωθούν τη διαφάνεια σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας και χειρισμού δεδομένων εντός της εκπαιδευτικής τεχνολογίας (Roshanaei et al., 2023).

Αυτές οι σκέψεις είναι κρίσιμες για την τήρηση των ηθικών προτύπων και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μερών στο εκπαιδευτικό οικοσύστημα, ειδικά καθώς οι τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στις μαθησιακές διαδικασίες (Gentile et al., 2023). Επιπλέον, η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στην εκπαίδευση, όπως και με την ΕΠ, απαιτεί προσεκτική εξέταση του «ψηφιακού χάσματος» και της κοινωνικής ένταξης,

διασφαλίζοντας ότι τα προηγμένα τεχνολογικά εργαλεία δεν επιδεινώνουν τις υπάρχουσες εκπαιδευτικές ανισότητες μεταξύ των μαθητών (Al-Zahrani, 2024). Αυτό περιλαμβάνει την αντιμετώπιση της κρίσιμης ανάγκης για δυναμική αναθεώρηση και επαναπροσδιορισμό των ρόλων των εκπαιδευτικών, παράλληλα με την ανάπτυξη ολοκληρωμένων προγραμμάτων ανάπτυξης ικανοτήτων για την προετοιμασία των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματική πλοήγηση σε μαθησιακά περιβάλλοντα πλούσια σε Τεχνητή Νοημοσύνη (Azzam & Charles, 2024). Τέτοια προγράμματα είναι ζωτικής σημασίας για τον εξοπλισμό των εκπαιδευτικών με τις απαραίτητες δεξιότητες για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης και της ΕΠ, τη διαχείριση σχετικών ηθικών ζητημάτων και την αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών για τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων για όλους τους μαθητές, ανεξάρτητα από το κοινωνικοοικονομικό τους υπόβαθρο ή την πρόσβασή τους στην τεχνολογία (Gentile et al., 2023). Οι εκπαιδευτικοί και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής πρέπει να αντιμετωπίσουν ενεργά τις εγγενείς προκαταλήψεις στους αλγόριθμους της Τεχνητής Νοημοσύνης για να διατηρήσουν τη δικαιοσύνη και την ένταξη στις εκπαιδευτικές εφαρμογές (Thelma et al., 2024). Αυτό περιλαμβάνει την αντιμετώπιση της κρίσιμης ανάγκης για δυναμική αναθεώρηση και επαναπροσδιορισμό των ρόλων των εκπαιδευτικών, παράλληλα με την ανάπτυξη ολοκληρωμένων προγραμμάτων ανάπτυξης ικανοτήτων για την προετοιμασία των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματική πλοήγηση σε μαθησιακά περιβάλλοντα πλούσια σε Τεχνητή Νοημοσύνη. Συνεπώς, μια προσέγγιση πολλαπλών ενδιαφερομένων που να περιλαμβάνει εκπαιδευτικούς, προγραμματιστές και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής είναι απαραίτητη για τη συνεχή παρακολούθηση και τον μετριασμό αυτών των προκαταλήψεων, διασφαλίζοντας ότι τα εργαλεία Τεχνητής Νοημοσύνης ενισχύουν την εκπαιδευτική ισότητα αντί να διαιωνίζουν τις υπάρχουσες ανισότητες (Delello et al., 2025). Αυτές οι σκέψεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές δεδομένου ότι τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης, εάν εκπαιδευτούν με βάση μεροληπτικά δεδομένα, μπορούν να διαιωνίσουν τις υπάρχουσες ανισότητες και να οδηγήσουν σε άδικη μεταχείριση των μαθητών (Thelma et al., 2024). Αυτό υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη για ισχυρά δεοντολογικά πλαίσια και ολοκληρωμένα προγράμματα κατάρτισης, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης στην εκπαίδευση είναι διαφανή, δίκαια και ευθυγραμμισμένα με τους παιδαγωγικούς στόχους (Barnes & Hutson, 2024). Αποτελεσματικές στρατηγικές για την καταπολέμηση τέτοιων προκαταλήψεων περιλαμβάνουν τη διαφοροποίηση των συνόλων δεδομένων

κατάρτισης, την εφαρμογή εξηγήσιμων μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης και την ενσωμάτωση μηχανισμών ανθρώπινης εποπτείας στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων των εκπαιδευτικών εργαλείων που βασίζονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη (Poornesh, 2024). Αυτή η προληπτική προσέγγιση διασφαλίζει ότι οι εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στην εκπαίδευση αναπτύσσονται και εφαρμόζονται με έντονη επίγνωση του κοινωνικού τους αντίκτυπου, δίνοντας προτεραιότητα στην ισότιμη πρόσβαση και τα αμερόληπτα αποτελέσματα (Roshanaei et al., 2023). Επιπλέον, η συνεχής επικύρωση του περιεχομένου που παράγεται από εκπαιδευτικά εργαλεία Τεχνητής Νοημοσύνης είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας, ενισχύοντας τη σημασία της αξιολόγησης από ειδικούς και των βρόχων ανατροφοδότησης στην ανάπτυξή τους (D'Souza et al., 2024).

7.3 Αντιμετώπιση προκλήσεων

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα αυξημένου φόρτου εργασίας των εκπαιδευτικών και το ψηφιακό χάσμα μεταξύ των μαθητών, προτείνοντας στρατηγικές όπως προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης και ισότιμη πρόσβαση στην τεχνολογία για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων. Επιπλέον, η αρχική επένδυση και το συνεχές κόστος συντήρησης που σχετίζονται με την τεχνολογία ΕΠ μπορούν να θέσουν σημαντικά εμπόδια στην ευρεία υιοθέτηση, ιδίως σε υποχρηματοδοτούμενα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Harry & Sayudin, 2023). Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, θα μπορούσαν να διερευνηθούν δημιουργικά μοντέλα χρηματοδότησης και συνεργασίες με παρόχους τεχνολογίας, ώστε η ΕΠ να καταστεί πιο προσβάσιμη σε όλα τα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων, τα σχολεία θα μπορούσαν να εξετάσουν το ενδεχόμενο εφαρμογής σχεδίων σταδιακής ενσωμάτωσης, ξεκινώντας με πιλοτικά προγράμματα για τον εντοπισμό και την επίλυση πρακτικών ζητημάτων πριν από την ευρύτερη εφαρμογή. Επιπλέον, η ταχεία εξέλιξη των τεχνολογιών ΕΠ απαιτεί συνεχή έρευνα σχετικά με τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις τους στην γνωστική ανάπτυξη και τα πρότυπα μάθησης, διασφαλίζοντας ότι οι παιδαγωγικές στρατηγικές παραμένουν ευθυγραμμισμένες με τις δυναμικές δυνατότητες αυτών των προηγμένων εργαλείων. Είναι επίσης σημαντικό να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα αυξημένου φόρτου εργασίας των εκπαιδευτικών και το ψηφιακό χάσμα μεταξύ των μαθητών, προτείνοντας στρατηγικές όπως προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης και ισότιμη πρόσβαση στην τεχνολογία για τον μετριασμό

αυτών των προκλήσεων. Πέρα από αυτές τις πρακτικές σκέψεις, οι ηθικές ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων στις εφαρμογές ΕΠ πρέπει να αντιμετωπιστούν αυστηρά, ώστε να διασφαλιστεί η δίκαιη και υπεύθυνη εφαρμογή (Chetry, 2024). Αυτές οι ανησυχίες απαιτούν την ανάπτυξη ισχυρών θεσμικών πολιτικών που προστατεύουν τα δεδομένα των μαθητών και διασφαλίζουν τη διαφανή και δίκαιη εφαρμογή των εργαλείων ΕΠ σε ποικίλα εκπαιδευτικά πλαίσια. Για παράδειγμα, η απαίτηση για συσκευές με υψηλότερη υπολογιστική ισχύ, ισχυρή συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο και σημαντική χωρητικότητα αποθήκευσης δεδομένων μπορεί να είναι απαγορευτική (Nadeem et al., 2023). Ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο είναι η σπανιότητα τοπικού περιεχομένου ΕΠ, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου οι γενικές εμπειρίες ΕΠ ενδέχεται να μην ευθυγραμμίζονται με συγκεκριμένα πολιτιστικά ή εκπαιδευτικά πλαίσια (Mondal & Mondal, 2025). Τέτοιοι περιορισμοί υπογραμμίζουν την ανάγκη για μεγαλύτερες επενδύσεις σε εξειδικευμένες υποδομές και τοπική δημιουργία περιεχομένου για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού της ΕΠ σε ποικίλα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Karalekas et al., 2025). Επιπλέον, η ανάπτυξη φιλικών προς το χρήστη εργαλείων συγγραφής για εκπαιδευτικούς θα μπορούσε να εκδημοκρατικοποιήσει τη δημιουργία περιεχομένου, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζουν τις εμπειρίες ΕΠ στις συγκεκριμένες ανάγκες του προγράμματος σπουδών τους χωρίς εκτεταμένη τεχνική εμπειρογνωμοσύνη (Abrar et al., 2019). Τέτοιες προληπτικές στρατηγικές μπορούν να βοηθήσουν στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ του τεχνολογικού δυναμικού και της πρακτικής εφαρμογής, προωθώντας ένα πιο συμπεριληπτικό και αποτελεσματικό μαθησιακό περιβάλλον (Tyson, 2021). Λύσεις για την υπέρβαση αυτών των εμποδίων. προτάσεις για προγράμματα κατάρτισης εκπαιδευτικών θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ενότητες για βασική αντιμετώπιση προβλημάτων, δημιουργία περιεχομένου και παιδαγωγικές στρατηγικές ειδικά για την ενσωμάτωση της ΕΠ, ενδυναμώνοντας έτσι τους εκπαιδευτικούς να χρησιμοποιούν με σιγουριά αυτά τα εργαλεία (Oleksiuk & Oleksiuk, 2022). προτάσεις για την αντιμετώπιση ζητημάτων όπως η πιθανότητα υπερβολικής εξάρτησης από οπτικά ερεθίσματα, τα οποία θα μπορούσαν ακούσια να παραμελήσουν άλλες αισθητηριακές μεθόδους μάθησης, υποστηρίζοντας έτσι τις πολυτροπικές εμπειρίες ΕΠ. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί καινοτόμες προσεγγίσεις στην επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών, εξοπλίζοντας τους εκπαιδευτικούς με τις απαραίτητες δεξιότητες για να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν αποτελεσματικά μαθησιακές εμπειρίες εμπλουτισμένες με ΕΠ (Dengel et al., 2022). Τέλος, η ανάπτυξη

ολοκληρωμένων πλαισίων αξιολόγησης προσαρμοσμένων σε μαθησιακά περιβάλλοντα εμπλουτισμένα με ΕΠ είναι απαραίτητη για την ακριβή μέτρηση του αντίκτυπου αυτών των τεχνολογιών στα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών και στον επιστημονικό εγγραμματισμό (Aebersold et al., 2017).

7.4 Σύνοψη των κύριων ευρημάτων και η σημασία τους

Η παρούσα μελέτη διερεύνησε τη διαφορετική επίδραση της ΕΠ, των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων και των παραδοσιακών παιδαγωγικών μεθόδων στην κατανόηση της κυτταρικής βιολογίας από τους μαθητές, εστιάζοντας ειδικά στα φυτικά και ζωικά κύτταρα. Τα ευρήματα κατέδειξαν με συνέπεια ότι οι τεχνολογίες εμπύθισης, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και οι προσομοιώσεις, ενισχύουν σημαντικά την εμπλοκή των μαθητών και διευκολύνουν μια βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση σε σύγκριση με τις συμβατικές διδακτικές προσεγγίσεις (YILDIRIM, 2020). Η ΕΠ, ειδικότερα, αποδείχθηκε ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την οπτικοποίηση σύνθετων βιολογικών δομών με πιο διαδραστικό και προσβάσιμο τρόπο, επιτρέποντας αυθεντικές αναπαραστάσεις κυτταρικών διεργασιών (Thompson et al., 2018). Αυτό ευθυγραμμίζεται με προηγούμενη έρευνα που δείχνει ότι οι εφαρμογές ΕΠ συχνά παρέχουν εξερευνητικές και βασισμένες σε προσομοιώσεις μαθησιακές δραστηριότητες που ενισχύουν την εννοιολογική κατανόηση στους τομείς STEM (Ibáñez & Kloos, 2018). Η ενσωμάτωση της ΕΠ στην εκπαίδευση της βιολογίας, για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει μια διαδραστική και συναρπαστική μαθησιακή εμπειρία, οδηγώντας σε θετικές αντιδράσεις των μαθητών και βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα (Erwinsah et al., 2019). Επιπλέον, η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στην εκπαίδευση STEM έχει παρατηρηθεί ότι συμβάλλει θετικά στην μαθησιακή απόδοση των μαθητών και στον εγγραμματισμό STEM (Petrov & Atanasova, 2020). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για μαθήματα όπως η ανθρώπινη ανατομία, όπου η ΕΠ μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να απεικονίσουν σύνθετες δομές καλύτερα από τις παραδοσιακές μεθόδους (Yulianti et al., 2021). Συγκεκριμένα, η ικανότητα της ΕΠ να παρουσιάζει τρισδιάστατες προοπτικές εκπαιδευτικού περιεχομένου καθιστά τις αφηρημένες έννοιες και τα αντικείμενα πιο προσιτά στην κατανόηση, προωθώντας έτσι βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα μέσω της διάδοσης γνώσεων και της κατάρτισης δεξιοτήτων (Chen et al., 2024). Αυτή η μελέτη επιβεβαιώνει ότι τέτοιες τεχνολογικές εξελίξεις δεν είναι απλώς

συμπληρωματικά εργαλεία, αλλά αναπόσπαστα συστατικά για την ενίσχυση της σκέψης ανώτερου επιπέδου και των δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών. Το μετασχηματιστικό δυναμικό αυτών των τεχνολογιών έγκειται στην ικανότητά τους να παρέχουν βιωματικά περιβάλλοντα μάθησης που προάγουν τη βαθύτερη εμπλοκή και την κριτική σκέψη, κάτι που οι παραδοσιακές μέθοδοι συχνά δυσκολεύονται να επιτύχουν (Crogman et al., 2025). Η καθηλωτική φύση της επαυξημένης πραγματικότητας, μέσω της δημιουργίας ενός περιβάλλοντος με επίκεντρο τον μαθητή, έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τις δεξιότητες αυτορρύθμισης στους μαθητές, ιδιαίτερα σε εκείνους με μαθησιακές δυσκολίες (Jdaitawi et al., 2022). Αυτές οι καινοτόμες προσεγγίσεις, που περιλαμβάνουν τόσο την επαυξημένη όσο και την εικονική πραγματικότητα, αναδιαμορφώνουν θεμελιωδώς τα εκπαιδευτικά παραδείγματα προσφέροντας διαδραστικές και συναρπαστικές εμπειρίες που ξεπερνούν τους περιορισμούς της συμβατικής διδασκαλίας (Thangavel, 2025).

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης υπογραμμίζουν τον κρίσιμο ρόλο των προηγμένων εργαλείων οπτικοποίησης στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της θεωρητικής γνώσης και της πρακτικής εφαρμογής, ιδιαίτερα σε θέματα που απαιτούν την κατανόηση περίπλοκων βιολογικών συστημάτων. Η επαυξημένη πραγματικότητα, με την επικάλυψη ψηφιακού περιεχομένου στον φυσικό κόσμο, προσφέρει πρωτοφανείς ευκαιρίες για την ενίσχυση των μαθησιακών εμπειριών και τον μετασχηματισμό των παραδοσιακών παιδαγωγικών προσεγγίσεων (Palada et al., 2024). Αυτή η τεχνολογία εμπύθισης επιτρέπει τον χειρισμό και την παρατήρηση κινούμενων τρισδιάστατων αντικειμένων, διευκολύνοντας εικονικά πειράματα χωρίς κινδύνους για την υγεία και ενισχύοντας την κατανόηση σύνθετων χωρικών προβλημάτων (Kazlacheva et al., 2018). Αυτό επιτρέπει στους μαθητές να ασχολούνται ενεργά με εικονικά αντικείμενα σε περιβάλλοντα πραγματικού κόσμου, προωθώντας μια αίσθηση εμπύθισης και επιτρέποντας τη βιωματική μάθηση (Chang et al., 2022). Η ΕΠ γεφυρώνει με μοναδικό τρόπο τη φυσική πραγματικότητα με εικονικά δεδομένα, επιτρέποντας την ενίσχυση του φυσικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο με εικονικές επικαλύψεις (Alkhabra et al., 2023). Αυτό δημιουργεί ένα εξαιρετικά διαδραστικό μαθησιακό περιβάλλον, που ξεπερνά την παθητική λήψη πληροφοριών στον ενεργό χειρισμό και εξερεύνηση σύνθετων βιολογικών δομών, διευκολύνοντας έτσι την βαθύτερη γνωστική επεξεργασία. Αυτή η βελτιωμένη διαδραστικότητα όχι μόνο καθιστά τη μάθηση πιο ελκυστική, αλλά υποστηρίζει επίσης την ανάπτυξη κριτικής σκέψης και δεξιοτήτων

επίλυσης προβλημάτων που είναι απαραίτητες για τον επιστημονικό γραμματισμό. Η ενσωμάτωση τέτοιων διαδραστικών και εμβυθιστικών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης τόσο της επαυξημένης όσο και της εικονικής πραγματικότητας, αντιπροσωπεύει μια σημαντική παραδειγματική αλλαγή στην εκπαιδευτική παροχή, κινούμενη προς περιβάλλοντα που προωθούν μια πιο βαθιά κατανόηση μέσω της άμεσης εμπλοκής και εξερεύνησης (Rangarajan et al., 2024). Αυτή η έρευνα υπογραμμίζει την ανάγκη οι εκπαιδευτικοί να ενσωματώσουν στρατηγικά αυτά τα προηγμένα εργαλεία στα προγράμματα σπουδών για να μεγιστοποιήσουν τα παιδαγωγικά τους οφέλη και να καλλιεργήσουν μια νέα γενιά επιστημονικά εγγράμματων ατόμων. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει τη μακροπρόθεσμη διατήρηση της γνώσης και τη δυνατότητα μεταφοράς των δεξιοτήτων που αποκτώνται μέσω αυτών των εμβυθιστικών τεχνολογιών σε νέα πλαίσια (Udeozer et al., 2023). Επιπλέον, απαιτούνται διαχρονικές μελέτες για την αξιολόγηση του αντίκτυπου της διαρκούς έκθεσης στην ΕΠ και στις εκπαιδευτικές προσομοιώσεις στις δεξιότητες επιστημονικής έρευνας των μαθητών και στο κίνητρό τους να ακολουθήσουν σταδιοδρομίες STEM. Περαιτέρω διερεύνηση της συγκριτικής αποτελεσματικότητας της ΕΠ και της VR σε ποικίλους επιστημονικούς κλάδους θα ήταν επίσης ωφέλιμη για την κατανόηση των συγκεκριμένων παιδαγωγικών πλεονεκτημάτων τους (Analyti et al., 2024). Επιπλέον, η διερεύνηση των ψυχολογικών και γνωστικών μηχανισμών που διέπουν τις παρατηρούμενες βελτιώσεις μάθησης σε περιβάλλοντα ΕΠ και VR θα μπορούσε να προσφέρει βαθύτερες γνώσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητά τους (Huang et al., 2019). Τέλος, η ανάπτυξη ισχυρών πλαισίων για την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών, αντιμετωπίζοντας τις υλικοτεχνικές και εκπαιδευτικές προκλήσεις για τους εκπαιδευτικούς, θα είναι κρίσιμη για την ευρεία υιοθέτηση και τον βιώσιμο αντίκτυπο. Αυτή η μελέτη καταδεικνύει ότι η ΕΠ και οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις ενισχύουν σημαντικά τον επιστημονικό εγγραμματισμό παρέχοντας διαδραστικές, καθηλωτικές μαθησιακές εμπειρίες που ξεπερνούν τις παραδοσιακές μεθόδους στην εμπλοκή και την εννοιολογική κατανόηση. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση υπογραμμίζει το μετασχηματιστικό δυναμικό αυτών των τεχνολογιών στην ενίσχυση μιας βαθύτερης εκτίμησης για τις επιστημονικές αρχές και μεθοδολογίες μεταξύ των μαθητών (Cheng & Tsai, 2012). Τα ευρήματα υπογραμμίζουν περαιτέρω ότι τέτοια τεχνολογικά προηγμένα παιδαγωγικά εργαλεία όχι μόνο καθιστούν τη μάθηση πιο ελκυστική, αλλά καλλιεργούν και την κριτική σκέψη και τις ικανότητες επιχειρηματολογίας που είναι

απαραίτητες για την πλοήγηση σε σύνθετες επιστημονικές πληροφορίες (Demircioğlu et al., 2022).

Αυτή η ολιστική προσέγγιση στην εκπαίδευση, αξιοποιώντας τεχνολογίες εμπύθισης, καλλιεργεί όχι μόνο την πραγματική γνώση αλλά και την κριτική διάθεση που απαιτείται για την επιστημονική έρευνα και την επίλυση προβλημάτων, προετοιμάζοντας έτσι τους μαθητές για μελλοντικές προκλήσεις (Egunjobi & Adeyeye, 2024). Αυτή η έρευνα παρέχει ένα πειστικό επιχείρημα για την ευρύτερη υιοθέτηση της ΕΠ και των εκπαιδευτικών προσομοιώσεων στις τάξεις φυσικών επιστημών για τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και την ενίσχυση ενός πιο επιστημονικά εγγράμμου πληθυσμού. Τα ευρήματα της μελέτης επιβεβαιώνουν προηγούμενες έρευνες που δείχνουν ότι η επαυξημένη πραγματικότητα ενισχύει τα μαθησιακά αποτελέσματα και την αντίληψη των χρηστών σε εκπαιδευτικά πλαίσια, υποδηλώνοντας τη δυνατότητά της να φέρει επανάσταση στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών (Sommerauer & Müller, 2014). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα δεδομένης της αυξανόμενης προσβασιμότητας της εικονικής πραγματικότητας, η οποία, παρά την αρχική της ενσωμάτωση στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, υπόσχεται πολλά για τον μετασχηματισμό του τρόπου με τον οποίο κατανοούνται οι αφηρημένες έννοιες μέσω εμπυθιστικών, διαδραστικών περιβαλλόντων (Rangarajan et al., 2024). Η εικονική πραγματικότητα προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες για βιωματική μάθηση, επιτρέποντας στους μαθητές να ασχοληθούν με σύνθετα επιστημονικά φαινόμενα με τρόπους που οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν μπορούν (Mallek et al., 2024). Για παράδειγμα, οι προσομοιώσεις εικονικής πραγματικότητας μπορούν να παρέχουν στους μαθητές τη δυνατότητα να εξερευνούν κυτταρικές δομές ή οικολογικά συστήματα με έναν εξαιρετικά διαδραστικό και ενδιαφέρον τρόπο, αντικατοπτρίζοντας την ευρεία διείσδυση αυτών των τεχνολογιών σε διάφορες πτυχές της σύγχρονης ζωής (Ely, 1992). Αυτή η ικανότητα για εμπυθιστική και διαδραστική εμπλοκή μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις πρακτικές δυνατότητες και να προωθήσει μια βαθύτερη κατανόηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών, καθιστώντας την μια κεντρική αναπτυξιακή τάση στη βοηθητική διδασκαλία (Huang et al., 2023). Αυτή η εμπυθιστική δυνατότητα καθιστά την εικονική πραγματικότητα ένα συναρπαστικό εργαλείο για τους εκπαιδευτικούς που επιδιώκουν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς της συμβατικής διδασκαλίας στην τάξη, ιδιαίτερα για μαθήματα που απαιτούν αφηρημένη οπτικοποίηση ή προσομοιωμένο πειραματισμό (Luis et al., 2016). Η ικανότητα της

εικονικής πραγματικότητας να δημιουργεί δυναμικά και ρεαλιστικά περιβάλλοντα όπου οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με εκπαιδευτικό περιεχόμενο, είτε στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση είτε στο πανεπιστήμιο, υπόσχεται σημαντικά τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και την αύξηση του κινήτρου των μαθητών (Castro & Garduño, 2024). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη διδασκαλία εννοιών της θαλάσσιας οικολογικής βιωματικότητας ή για τη δυνατότητα που δίνεται στους μαθητές να βιώσουν εικονικά σενάρια πραγματικού κόσμου που διαφορετικά θα ήταν απρόσιτα, ενθαρρύνοντας μια βαθύτερη κατανόηση που εκτείνεται πέρα από την μηχανική απομνημόνευση (Dunivan et al., 2024). Επιπλέον, η ενσωμάτωση της εικονικής πραγματικότητας σε εκπαιδευτικά πλαίσια έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει το κίνητρο, τη συμμετοχή και τις μαθησιακές ικανότητες των μαθητών, αποδεικνύοντας ιδιαίτερα αποτελεσματική για θέματα που είναι δύσκολο να βιωθούν ή να εξασκηθούν σε παραδοσιακά περιβάλλοντα (Montagud et al., 2022).

Αυτή η εμπυθιστική ικανότητα της εικονικής πραγματικότητας επιτρέπει την εμπειρική εξερεύνηση σύνθετων επιστημονικών εννοιών, όπως η κυτταρική βιολογία ή η δυναμική των οικοσυστημάτων, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ θεωρητικής γνώσης και πρακτικής εφαρμογής. Αυτό συμβαίνει επειδή η εικονική πραγματικότητα δημιουργεί ένα τρισδιάστατο ψηφιακό περιβάλλον που αποτυπώνει τις οπτικές και ακουστικές αισθήσεις, ενισχύοντας έτσι την ψυχολογική και σωματική εμπειρία μέσω προηγμένων τεχνολογιών (Cabrera-Duffaut et al., 2024). Αυτή η βελτιωμένη αισθητηριακή εμπλοκή διευκολύνει μια πιο βαθιά αφομοίωση των πληροφοριών, καθώς οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδρούν με εικονικά αντικείμενα και σενάρια με τρόπο ανάλογο με τον χειρισμό στον πραγματικό κόσμο (Ding & Li, 2022). Αυτή η εμπύθιση επιτρέπει μια βαθύτερη γνωστική επεξεργασία των πληροφοριών, καθώς οι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν σύνθετες έννοιες με τον δικό τους ρυθμό και από πολλαπλές οπτικές γωνίες, κάτι που είναι κρίσιμο για την εσωτερίκευση αφηρημένων επιστημονικών αρχών (Marougkas et al., 2023). Τέτοιες τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν στους μαθητές να ξεπεράσουν τους περιορισμούς της δισδιάστατης μάθησης, προσφέροντας ένα πιο ρεαλιστικό και αποτελεσματικό σενάριο εφαρμογής για την απόκτηση σύνθετης επιστημονικής γνώσης (Man et al., 2020). Αυτή η αυξημένη εμπλοκή μέσω εικονικών περιβαλλόντων μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα ποσοστά διατήρησης της γνώσης και σε μια πιο βαθιά εννοιολογική κατανόηση, ιδιαίτερα για αφηρημένα ή μικροσκοπικά φαινόμενα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει

εικονικές εκδρομές σε δυσπρόσιτες ή επικίνδυνες τοποθεσίες, επιτρέποντας στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με πολύπλοκο επιστημονικό εξοπλισμό ή να συμμετέχουν σε πειράματα που θα ήταν ανέφικτα ή αδύνατα σε ένα παραδοσιακό περιβάλλον τάξης (Ou et al., 2021). Επιπλέον, η οικονομική αποδοτικότητα της δημιουργίας εικονικών περιβαλλόντων σε σύγκριση με τα φυσικά μοντέλα ή τις εκδρομές καθιστά την εικονική πραγματικότητα μια ελκυστική λύση για τα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Η ικανότητα της εικονικής πραγματικότητας να παρέχει συναρπαστικές και διαδραστικές μαθησιακές εμπειρίες την καθιστά ένα ισχυρό παιδαγωγικό εργαλείο που μπορεί να φιλοξενήσει ποικίλα στυλ και ανάγκες μάθησης (Marougkas et al., 2023). Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να προσαρμόζουν τις μαθησιακές εμπειρίες στις ατομικές απαιτήσεις των μαθητών, προωθώντας ένα συμπεριληπτικό και αποτελεσματικό εκπαιδευτικό περιβάλλον (Liu et al., 2025). Επιπλέον, οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας, συμπεριλαμβανομένων των πιο εξελιγμένων διαδραστικών τρισδιάστατων χώρων και των προσαρμόσιμων avatar, υπόσχονται ακόμη μεγαλύτερες δυνατότητες για τη βελτίωση των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων (Hua & Wang, 2023). Αυτή η συνεχής εξέλιξη υποδηλώνει ότι η εικονική πραγματικότητα πιθανότατα θα γίνει απαραίτητο συστατικό των μελλοντικών εκπαιδευτικών συστημάτων, προσφέροντας μια ισχυρή πλατφόρμα για την ενίσχυση των μαθησιακών εμπειριών (Marougkas et al., 2023). Ενώ η εκπαιδευτική χρήση της εικονικής πραγματικότητας αυξάνεται, εξακολουθεί να υπάρχει κρίσιμη ανάγκη για ισχυρά παιδαγωγικά πλαίσια που θα καθοδηγούν την αποτελεσματική ενσωμάτωσή της, αντιμετωπίζοντας ανησυχίες σχετικά με τον εκπαιδευτικό σχεδιασμό και διασφαλίζοντας ότι η τεχνολογία πραγματικά βελτιώνει τις μαθησιακές διαδικασίες αντί να προσφέρει απλώς καινοτομία (Merchant et al., 2013). Για το σκοπό αυτό, μια ολοκληρωμένη κατανόηση του πώς τα περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας διευκολύνουν την κατασκευή γνώσης και την απόκτηση δεξιοτήτων, ιδίως μέσω θεωριών βιωματικής μάθησης, είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση του παιδαγωγικού τους αντίκτυπου (Chitra et al., 2024). Αυτό απαιτεί περαιτέρω έρευνα για αποτελεσματικές διδακτικές στρατηγικές που αξιοποιούν τις καθηλωτικές δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας για την ενίσχυση των δεξιοτήτων βαθιάς μάθησης και κριτικής σκέψης αντί για την επιφανειακή εμπλοκή (Asad et al., 2021). Αυτή η βαθύτερη διερεύνηση θα πρέπει επίσης να λάβει υπόψη τις ηθικές επιπτώσεις της ευρείας υιοθέτησης της εικονικής πραγματικότητας στην εκπαίδευση,

συμπεριλαμβανομένων ζητημάτων ισότητας, προσβασιμότητας και πιθανών
ψυχολογικών επιπτώσεων στους μαθητές (Muczyński et al., 2023).

Παράρτημα 1

Σχέδιο μαθήματος με τη χρήση συμβατικής διδασκαλίας

Θεματική ενότητα: Το φυτικό κύτταρο

Τάξη: ΣΤ' Δημοτικού

Διάρκεια: 6 διδακτικές ώρες (45 λεπτά/ώρα)

Μέθοδος: Συμβατική διδασκαλία (χωρίς τεχνολογικά μέσα)

Σκοπός: Οι μαθητές να κατανοήσουν τη δομή και βασική λειτουργία του φυτικού κυττάρου.

Γενικοί διδακτικοί στόχοι:

Οι μαθητές θα είναι σε θέση να:

- αναγνωρίζουν τα μέρη του φυτικού κυττάρου.
- περιγράφουν τις βασικές λειτουργίες κάθε οργανιδίου.
- συγκρίνουν φυτικά και ζωικά κύτταρα.
- εκφράζουν απορίες, προβληματισμούς και εξηγήσεις με βάση τη λογική και την παρατήρηση.

1η ώρα: Εισαγωγή στο κύτταρο – Βασικές έννοιες

Στόχος: Κατανόηση του κυττάρου ως βασική μονάδα ζωής.

Δραστηριότητες:

- Συζήτηση: «Τι είναι η ζωή; Από τι αποτελούνται τα φυτά;»
- Παρουσίαση εικόνων (σε έντυπη μορφή): φυτών, φύλλων, οργανισμών.
- Διάβασμα αποσπάσματος σχολικού βιβλίου.
- Ομαδική εργασία: Καταιγισμός ιδεών – Τι νομίζετε ότι συμβαίνει μέσα σε ένα φύλλο;

Υλικά: Βιβλίο, φωτογραφίες, πίνακας.

2η ώρα: Μορφή και δομή του φυτικού κυττάρου

Στόχος: Αναγνώριση των δομικών μερών του φυτικού κυττάρου.

Δραστηριότητες:

- Κατασκευή σχεδίου φυτικού κυττάρου στον πίνακα.
- Ονομασία και εξήγηση (κυτταρικό τοίχωμα, κυτταρόπλασμα, πυρήνας, χλωροπλάστες).
- Εργασία ατομική: Ζωγράφισε και χρωμάτισε το φυτικό κύτταρο.

Υλικά: Φύλλο εργασίας με σχεδιάγραμμα, χρώματα, φωτοαντίγραφα.

3η ώρα: Τα οργανίδια και οι λειτουργίες τους

Στόχος: Κατανόηση της λειτουργίας κάθε μέρους.

Δραστηριότητες:

- Αναλογίες: «Ο πυρήνας είναι ο εγκέφαλος του κυττάρου», «Ο χλωροπλάστης είναι το εργοστάσιο ενέργειας».
- Καρτέλες-παιχνίδι: «Βρες το οργανίδιο που...».
- Σύντομο φύλλο αξιολόγησης (σωστό/λάθος – αντιστοίχιση).

Υλικά: Καρτέλες, φύλλο εργασίας, μαρκαδόροι.

4η ώρα: Φυτικό vs ζωικό Κύτταρο – Σύγκριση

Στόχος: Κατανόηση διαφορών/ομοιοτήτων φυτικού και ζωικού κυττάρου.

Δραστηριότητες:

- Συγκριτικός πίνακας στον πίνακα.
- Ομαδική εργασία: Συμπλήρωση πίνακα με καρτέλες ομοιοτήτων και διαφορών.
- Κριτική σκέψη: «Αν τα ζώα είχαν χλωροπλάστες... τι θα συνέβαινε;»

Υλικά: Πίνακας, κάρτες, κόλλα.

5η ώρα: Κατανόηση μέσα από δημιουργική έκφραση

Στόχος: Εσωτερίκευση γνώσης με δημιουργική αναπαράσταση.

Δραστηριότητες:

- Εργασία σε ομάδες: Δημιουργία αφίσας με το φυτικό κύτταρο.
- Σύντομο θεατρικό: «Το ταξίδι μέσα στο κύτταρο» (κάθε παιδί είναι οργανίδιο).
- Παρουσίαση εργασιών στην τάξη.

Υλικά: Κόλλες, ψαλίδια, μαρκαδόροι, σκίτσα, οδηγίες.

6η ώρα: Αξιολόγηση – Αναστοχασμός

Στόχος: Εμπέδωση γνώσης – Αυτοαξιολόγηση – Κλείσιμο ενότητας.

Δραστηριότητες:

- Quiz (ατομικό): 10 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής/συμπλήρωσης.
- Ανοιχτές ερωτήσεις σκέψης: «Αν ήσουν ένα χλωροπλάστης, τι θα έκανες μέσα στο κύτταρο;»
- Συζήτηση: Τι έμαθα – Τι με εντυπωσίασε – Τι θα ήθελα να ξανακάνω.

Υλικό: Τελικό φύλλο αξιολόγησης, αυτοαξιολόγηση.

Παράρτημα 2

Σχέδιο μαθήματος με τη χρήση συμβατικής διδασκαλίας

Θεματική Ενότητα: Το ζωικό κύτταρο

Τάξη: ΣΤ' Δημοτικού

Διάρκεια: 6 διδακτικές ώρες

Μέθοδος: Συμβατική διδασκαλία

Σκοπός: Οι μαθητές να γνωρίσουν τη δομή, τα βασικά οργανίδια και τις λειτουργίες του ζωικού κυττάρου, αναγνωρίζοντας τις διαφορές του από το φυτικό.

Γενικοί διδακτικοί στόχοι:

Οι μαθητές θα είναι σε θέση να:

- ονομάζουν και περιγράφουν βασικά οργανίδια του ζωικού κυττάρου.
 - κατανοούν τις λειτουργίες τους.
 - διακρίνουν το ζωικό από το φυτικό κύτταρο.
 - εκφράζουν ιδέες και ερωτήματα με βάση παρατηρήσεις και λογική.
-

1η ώρα: Τι είναι κύτταρο; Εισαγωγή στον μικρόκοσμο των οργανισμών

Στόχος: Κατανόηση της σημασίας των κυττάρων.

Δραστηριότητες:

- Συζήτηση: «Από τι είμαστε φτιαγμένοι;»
- Προβολή εικόνων και απλών σχεδιαγραμμάτων.
- Δημιουργία εννοιολογικού χάρτη με την έννοια "κύτταρο".

Υλικά: Φωτοαντίγραφα, χρωματιστά χαρτόνια, σχολικό βιβλίο.

2η ώρα: Μορφή και δομή του ζωικού κυττάρου

Στόχος: Εξοικείωση με το σχήμα και τα βασικά μέρη του ζωικού κυττάρου.

Δραστηριότητες:

- Σχεδίαση ζωικού κυττάρου στον πίνακα.
- Ονομασία: κυτταρόπλασμα, πυρήνας, κυτταρική μεμβράνη, μιτοχόνδρια.
- Ατομική ζωγραφική ενός ζωικού κυττάρου.

Υλικά: Φύλλο σχεδίου, φωτοαντίγραφα.

3η ώρα: Οργανίδια και λειτουργίες – Μέσα από την καθημερινή ζωή

Στόχος: Σύνδεση λειτουργιών των οργανιδίων με αναλογίες και παραδείγματα.

Δραστηριότητες:

- Το παιχνίδι των ρόλων: κάθε παιδί «είναι» ένα οργανίδιο και εξηγεί τι κάνει.
- Καρτέλες: αντιστοίχιση οργανιδίων με λειτουργίες.
- Ατομικό mini quiz.

Υλικά: Κάρτες, πρόχειρο τετράδιο, πίνακας.

4η ώρα: Σύγκριση με φυτικό κύτταρο – Διαφορές και ομοιότητες

Στόχος: Κατανόηση της διαφοροποίησης μεταξύ ζωικών και φυτικών κυττάρων.

Δραστηριότητες:

- Ομαδικός πίνακας: Ομοιότητες/Διαφορές.
- Παράδειγμα-σενάριο: «Αν το ζωικό κύτταρο είχε χλωροπλάστη...»
- Συμπλήρωση διαγράμματος Venn.

Υλικά: Φύλλο εργασίας, μαρκαδόροι.

5η Ώρα: Δημιουργική έκφραση – Το ζωντανό κύτταρο

Στόχος: Εμπέδωση γνώσεων με δημιουργική δραστηριότητα.

Δραστηριότητες:

- Δημιουργία τρισδιάστατης μακέτας (πλαστελίνες ή χαρτί).
- Ομαδικό θεατρικό: «Το ζωικό κύτταρο μιλάει».
- Παρουσίαση εργασιών.

Υλικά: Χαρτόνια, ψαλίδι, κόλλα, πλαστελίνη.

6η ώρα: Επανάληψη – Αξιολόγηση – Σκέφτομαι σαν επιστήμονας

Στόχος: Ανακεφαλαίωση, αποτίμηση της εμπειρίας.

Δραστηριότητες:

- Quiz: 10 ερωτήσεις γνώσεων.
- Ανοιχτές ερωτήσεις: «Αν ταξίδευες μέσα σε ένα κύτταρο...»
- Αυτοαξιολόγηση με smileys και ελεύθερη έκφραση.

Υλικά: Φύλλο αξιολόγησης, κάρτες, εικόνες.

Παράρτημα 3

Σχέδιο διδασκαλίας με τη χρήση εκπαιδευτικών προσομοιώσεων

Θεματική ενότητα: Φυτικό κύτταρο

Μέθοδος: Διερευνητική μάθηση με προσομοιώσεις

Πηγές: Φωτόδεντρο, Learn Genetics, ενσωματωμένες HTML5 προσομοιώσεις, διαδραστικά μοντέλα

1η ώρα: Τι είναι κύτταρο;

Στόχος: Εισαγωγή στην έννοια του κυττάρου και των μικροσκοπικών οργανισμών.

Δραστηριότητες:

- Προβληματισμός: «Τι σημαίνει ότι το φυτό είναι "ζωντανό";»
- Προβολή εισαγωγικής προσομοίωσης για τη δομή του κυττάρου.
- Σχηματισμός υποθέσεων από τους μαθητές: Τι πιστεύεις ότι συμβαίνει μέσα σε ένα φύλλο;

2η ώρα: Παρατήρηση φυτικού κυττάρου μέσω προσομοίωσης

Στόχος: Αναγνώριση βασικών οργανιδίων.

Δραστηριότητες:

- Χρήση προσομοίωσης για φυτικό κύτταρο (π.χ. διαδραστική ετικετοθέτηση).
- Φύλλο παρατήρησης: Οργανίδιο – Τι βλέπω – Τι νομίζω ότι κάνει.
- Συζήτηση στην ολομέλεια.

3η ώρα: Τα βασικά οργανίδια

Στόχος: Κατανόηση ρόλου οργανιδίων (κυτταρικό τοίχωμα, χλωροπλάστης κ.ά.)

Δραστηριότητες:

- Χρήση προσομοίωσης με ενεργοποιημένα animation για κάθε λειτουργία.
- Ομαδική κατασκευή infographic «Το φυτικό κύτταρο σαν πόλη» (με ρόλους).
- Συγκριτικός πίνακας λειτουργιών.

4η ώρα: Μοντελοποίηση και σύνθεση

Στόχος: Οπτικοποίηση και σύνθεση πληροφοριών.

Δραστηριότητες:

- Συμπλήρωση κενών μοντέλων κυττάρων (ψηφιακά ή έντυπα).
- Εργασία: Ζωγράφισε και περιέγραψε το ταξίδι ενός μορίου στο φυτικό κύτταρο.
- Αναστοχασμός: Τι κατάλαβα – τι με μπέρδεψε.

5η ώρα: Σύγκριση με ζωικό κύτταρο

Στόχος: Εντοπισμός διαφορών.

Δραστηριότητες:

- Διπλή προσομοίωση: Φυτικό vs Ζωικό.
 - Συμπλήρωση πίνακα ομοιοτήτων/διαφορών.
 - Σενάριο ερώτησης: «Αν ένα φυτικό κύτταρο έχανε το χλωροπλάστη του...»
-

6η Ώρα: Αξιολόγηση – Δημιουργική έκφραση

Δραστηριότητες:

- Quiz πολλαπλής επιλογής (εντός της προσομοίωσης ή Google Forms).
 - Ανοιχτές ερωτήσεις σκέψης.
 - Καλλιτεχνική εργασία: Αφίσα «Το εσωτερικό του φυτού – η ζωή μέσα στο κύτταρο».
-

Παράρτημα 4

Σχέδιο διδασκαλίας με τη χρήση εκπαιδευτικών προσομοιώσεων

Θεματική ενότητα: Ζωικό κύτταρο

Μέθοδος: Μάθηση βασισμένη σε μοντέλα και προσομοιώσεις

Εργαλεία: PhET, Learn Genetics, BIOINTERACTIVE, Φωτόδεντρο

1η ώρα: Η έννοια του κυττάρου στα ζώα

Στόχος: Συσχέτιση οργανισμών με κύτταρα.

Δραστηριότητες:

- Ερώτηση ενεργοποίησης: «Αν κόψουμε το δέρμα σε πολύ μικρά κομματάκια, τι θα δούμε;»
 - Σύντομη προσομοίωση εισαγωγής.
 - Αντιστοίχιση οργανισμών με είδος κυττάρου.
-

2η ώρα: Δομή ζωικού κυττάρου

Στόχος Ονομασία & αναγνώριση βασικών οργανιδίων.

Δραστηριότητες:

- Εξερεύνηση διαδραστικού μοντέλου κυττάρου.
<https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/10479>
 - Φύλλο παρατήρησης: «Οργανίδιο – Σχήμα – Λειτουργία».
 - Κουίζ ετικετοθέτησης.
-

3η ώρα: Κατανόηση λειτουργιών οργανιδίων

Στόχος: Κατανόηση «ρόλων» του κυττάρου.

Δραστηριότητες:

- Ομαδικό παιχνίδι ρόλων: Το κύτταρο ως εργοστάσιο.
 - Κατασκευή κυττάρου από ανακυκλώσιμα υλικά ή με templates.
 - Ερωτήσεις προβληματισμού: Τι θα γινόταν αν χάναμε τα μιτοχόνδρια;
-

4η ώρα: Σύγκριση φυτικού – ζωικού Κυττάρου

Δραστηριότητες:

- Προβολή δίδυμης προσομοίωσης.
 - Συμπλήρωση διαγράμματος Venn.
 - Συζήτηση: Πώς σχετίζεται το κύτταρο με τη ζωή του οργανισμού;
-

5η ώρα: Αναστοχασμός – Ερωτήσεις επιστημονικής σκέψης

Δραστηριότητες:

- Ερωτήματα όπως: Αν το ζωικό κύτταρο ήταν διαφανές, τι θα βλέπαμε;
 - Ατομικές εργασίες: Ζωγράφισε το αγαπημένο σου οργανίδιο και γράψε τι κάνει.
 - Γραφή σύντομης επιστημονικής αφήγησης: «Μια μέρα ως πυρήνας»
-

6η ώρα: Τελική αξιολόγηση – Παρουσίαση γνώσεων

Δραστηριότητες:

- Διαδραστικό κουίζ ή escape room κυττάρου (έντυπο ή ψηφιακό).
- Δημιουργία ομαδικής παρουσίασης.
- Ανατροφοδότηση μέσω καρτελών: Τι έμαθα – Τι με εντυπωσίασε – Τι θέλω να ξαναδώ.

Παράρτημα 5

Σχέδιο διδασκαλίας με τη χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας (ArTutor4)

Θεματική ενότητα: Φυτικό κύτταρο

Διάρκεια: 6 διδακτικές ώρες

Μέσο: ArTutor4 (AR εφαρμογή)

Διδακτική προσέγγιση: Διερευνητική μάθηση με βιωματικά στοιχεία και τεχνολογία

1η ώρα – Ενεργοποίηση ενδιαφέροντος

Στόχος: Να δημιουργηθεί εσωτερικό κίνητρο εξερεύνησης.

Δραστηριότητα: «Κρυμμένος κόσμος στο φύλλο ενός φυτού»

- Οι μαθητές σκανάρουν εικόνα φύλλου με την εφαρμογή και παρατηρούν την τρισδιάστατη αναπαράσταση του κυττάρου.

Συζήτηση: Τι βλέπω; Τι νομίζω ότι κάνει; Τι θα ήθελα να ανακαλύψω;

2η ώρα – Αναγνώριση οργανιδίων

Στόχος: Πολυαισθητηριακή αναγνώριση βασικών δομών.

Δραστηριότητα: Με την εφαρμογή ArTutor4, οι μαθητές σαρώνουν καρτέλες με οργανίδια (π.χ. πυρήνας, χλωροπλάστες).

Φύλλο Εργασίας: Οργάνωση παρατηρήσεων (Όνομα – Λειτουργία – Περιγραφή).

Εμπλουτισμός με κίνηση και ήχο: Κάθε οργανίδιο «μιλά» με ηχογραφημένο μήνυμα στο ArTutor4.

3η ώρα – Οργάνωση γνώσης

Στόχος: Σχέσεις λειτουργιών – Σύνδεση με έννοιες φυσικής.

Δραστηριότητα: Δημιουργία «κυτταρικού χάρτη» με τη χρήση AR οδηγού – τα παιδιά οργανώνουν τα οργανίδια με βάση τη λειτουργία τους (δομικά, ενεργειακά, αποθηκευτικά).

Ομαδική συζήτηση: Αν έλειπε ένα από τα οργανίδια, τι θα συνέβαινε;

4η ώρα – Μικροκόσμος και φαντασία

Στόχος: Εμβάθυνση με δημιουργικότητα.

Δραστηριότητα: «Αν ταξίδευες μέσα στο κύτταρο» – οι μαθητές δημιουργούν εικονο-αφηγήσεις ή κόμικ βασισμένα στην εμπειρία τους από την AR εφαρμογή.

Ενσωμάτωση ψηφιακού σχεδίου: Στην ArTutor4 σχεδιάζουν ή προσαρμόζουν 3D ετικέτες.

5η ώρα – Σύγκριση με ζωικό κύτταρο

Στόχος: Σύγκριση και γενίκευση.

Δραστηριότητα: Οι μαθητές σκανάρουν καρτέλες ζωικού κυττάρου για να παρατηρήσουν διαφορές.

Συμπλήρωση διαδραστικού πίνακα σύγκρισης με χρήση AR animation (π.χ. εμφάνιση ή απουσία τοιχώματος/χλωροπλαστών).

6η ώρα – Αξιολόγηση και αναστοχασμός

Ατομική εργασία: «Το φυτικό κύτταρο με τα μάτια της επαυξημένης πραγματικότητας»

Quiz AR: Οι μαθητές σκανάρουν και απαντούν ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με εμφάνιση 3D στοιχείων.

Αυτοαξιολόγηση: Τι έμαθα; Τι με εντυπωσίασε; Τι με μπέρδεψε;

Παράρτημα 6

Σχέδιο διδασκαλίας με τη χρήση Επαυξημένης Πραγματικότητας (ArTutor4)

Θεματική ενότητα: Ζωικό κύτταρο

Διάρκεια: 6 διδακτικές ώρες

Μέσο: ArTutor4 (AR εφαρμογή)

1η ώρα – Εισαγωγή στο ζωικό κύτταρο

Στόχος: Κινητοποίηση φαντασίας και ενδιαφέροντος.

Δραστηριότητα: Σάρωση εικόνας δέρματος ή ιστού με AR – αναπαράσταση ζωικού κυττάρου.

Ερώτηση ενεργοποίησης: Αν μικρύνεις όσο χρειάζεται, τι θα δεις;

2η ώρα – Παρατήρηση και εντοπισμός οργανιδίων

Σάρωση καρτελών: Ο μαθητής παρατηρεί 3D μορφές (μιτοχόνδρια, πυρήνας, μεμβράνη).

Ερωτήσεις κατανόησης: Ποιο οργανίδιο παράγει ενέργεια; Ποιο δίνει εντολές;

Δραστηριότητα: Κάνε match το οργανίδιο με τη λειτουργία του.

3η ώρα – Βιοματρική προσομοίωση

Στόχος: Ενσώματη μάθηση – λειτουργική κατανόηση.

Δραστηριότητα: «Το εργοστάσιο του κυττάρου» – προσομοίωση λειτουργίας οργανιδίων με κινούμενα γραφικά μέσω AR.

Ο κάθε μαθητής ερμηνεύει τον ρόλο ενός οργανιδίου και γράφει «τι κάνει».

4η ώρα – Εννοιολογική χαρτογράφηση

Δραστηριότητα: Δημιουργία ψηφιακού εννοιολογικού χάρτη μέσα από το ArTutor4 (με αναδύμενες πληροφορίες).

Ομαδική σύνθεση: Παρουσίαση με χρήση της AR εφαρμογής.

5η ώρα – Σύγκριση με φυτικό κύτταρο

Παράλληλη προβολή/σάρωση δύο κυττάρων (AR).

Πίνακας σύγκρισης: Ποια μέρη έχει μόνο το φυτικό/ζωικό;

Ανοιχτή ερώτηση: Γιατί τα φυτά έχουν χλωροπλάστες και τα ζώα όχι;

6η ώρα – Επανάληψη & Αξιολόγηση

Δραστηριότητα: Ερωτήσεις AR πολλαπλής επιλογής και ανοιχτού τύπου (μέσω κουίζ του ArTutor4).

Παρουσίαση εργασιών: Μια ιστορία «μέσα στο κύτταρο».

Αυτοαξιολόγηση: Κύτταρο emoji scale – Πώς ένιωσα ως μαθητής-ερευνητής.

Παράρτημα 7

Έντυπο γονικής συγκατάθεσης για συμμετοχή σε έρευνα

Αξιότιμοι γονείς/κηδεμόνες,

Στα πλαίσια εκπόνησης διπλωματικής εργασίας με θέμα «**Η επίδραση της επαυξημένης πραγματικότητας στον επιστημονικό εγγραμματισμό των μαθητών της ΣΤ' Δημοτικού: Μελέτη περίπτωσης στο φυτικό και ζωικό**

κύτταρο», επιλέχθηκαν μαθητές της ΣΤ' Δημοτικού με σκοπό την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί να ενισχύσει τις δεξιότητες των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες.

Οι μαθητές που έχουν επιλεγθεί θα απαντήσουν σε ένα σύντομο ερωτηματολόγιο όπου θα καταγραφούν οι γνώσεις τους αναφορικά με τις γνώσεις του περιεχομένου, τις διαδικασίες και την φύση της επιστήμης. Η διάρκεια της συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου αναμένεται να είναι περίπου τριάντα (30) λεπτά. Καμία προετοιμασία δεν χρειάζεται. Το ερωτηματολόγιο δεν βαθμολογείται, δεν έχει σχέση με την επίδοση στο μάθημα της Φυσικής, παρά μόνο αξιοποιείται ανώνυμα για τις ανάγκες της έρευνας.

Τηρώντας αυστηρά τους κανόνες δεοντολογίας σας διαβεβαιώνω ότι η συμμετοχή του μαθητή θα είναι ανώνυμη και τα προσωπικά του δεδομένα προστατευμένα. Τα δεδομένα που θα συλλεχτούν και οι μετρήσεις της έρευνας είναι εμπιστευτικά και θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά και μόνο για τον σκοπό αυτής της εκπαιδευτικής έρευνας. Σας ευχαριστώ και είμαι στη διάθεση σας για οποιαδήποτε πληροφορία ή διευκρίνιση.

Βάρφης Χρήστος, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ,
Π.Τ.Δ.Ε, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Εφόσον συμφωνείτε, παρακαλούμε να συμπληρώσετε την παρακάτω δήλωση και να την επιστρέψετε υπογεγραμμένη.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ

Εγώ, ο/η υπογεγραμμένος/η _____,
γονέας/κηδεμόνας _____ του/της _____ μαθητή/τριας _____,
_____, δηλώνω ότι:

- ☐ Έχω ενημερωθεί για τη φύση και τον σκοπό της έρευνας.
- ☐ Συμφωνώ να συμμετάσχει το παιδί μου στην παραπάνω ερευνητική μελέτη.
- ☐ Γνωρίζω ότι η συμμετοχή είναι προαιρετική και ότι μπορώ να αποσύρω τη συγκατάθεσή μου οποιαδήποτε στιγμή.

Ημερομηνία: __ / __ / 202__

Υπογραφή Γονέα/Κηδεμόνα: _____

Για οποιαδήποτε απορία, μπορείτε να επικοινωνήσετε στο pel200049@uoi.gr ή στο 6945371504

Σας ευχαριστούμε για τη συνεργασία!

Παράρτημα 8

Εργαλείο μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού για μαθητές ΣΤ' Δημοτικού

Οδηγίες προς τους μαθητές:

Καλείστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις με βάση τις γνώσεις σας και την κριτική σας σκέψη. Διαβάστε προσεκτικά κάθε ερώτηση και επιλέξτε ή γράψτε με δικά σας λόγια την απάντηση που θεωρείτε σωστή, βασιζόμενοι στις δικές σας παρατηρήσεις και γνώσεις για τα κύτταρα.

Μέρος 1: Γνώσεις του Περιεχομένου της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Όταν κόβεις ένα φρούτο, όπως ένα μήλο ή μια ντομάτα, τι βλέπεις στο εσωτερικό του; Αν μπορούσαμε να μεγεθύνουμε ακόμα περισσότερο, τι άλλα μικροσκοπικά πράγματα νομίζεις ότι θα βρίσκαμε;

Ερώτηση 2: Όλα τα φυτά είναι πράσινα; Αν όχι, γιατί κάποια είναι διαφορετικά;

Ερώτηση 3: Αν κοιτάξεις το δέρμα σου από πολύ κοντά, τι νομίζεις ότι θα δεις; Τι μπορεί να κρύβεται εκεί που δεν φαίνεται με γυμνό μάτι;

Ερώτηση 4: Αν μπορούσες να μπεις μέσα σε ένα κύτταρο, τι νομίζεις ότι θα έβλεπες γύρω σου; Περιέγραψε το ταξίδι σου μέσα σε αυτό.

Ερώτηση 5: Ποιες διαφορές νομίζεις ότι υπάρχουν ανάμεσα στα κύτταρα ενός φυτού και ενός ζώου όσον αφορά τον τρόπο ζωής τους;

Ερώτηση 6: Τι πιστεύεις ότι υπάρχει μέσα στο σώμα μας και κάνει τα διάφορα μέρη του να λειτουργούν;

Ερώτηση 7: Αν έπρεπε να φανταστείς από τι είναι φτιαγμένα τα φυτά και τα ζώα, τι θα έλεγες ότι υπάρχει στο εσωτερικό τους;

Ερώτηση 8: Αν κοιτάξεις τα χέρια σου και τα συγκρίνεις με τα φύλλα ενός φυτού, τι νομίζεις ότι μπορεί να είναι ίδιο και τι διαφορετικό στην επιφάνειά τους;

Μέρος 2: Διαδικασίες της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Φανταστείτε ότι χρησιμοποιείτε μια εφαρμογή ΕΠ για να εξερευνήσετε ένα φυτικό κύτταρο. Η εφαρμογή σας επιτρέπει να αφαιρέσετε τα διαφορετικά στρώματα του κυτταρικού τοιχώματος. Πώς σας βοηθά αυτό να μάθετε για το κυτταρικό τοίχωμα;

- (α) Σας επιτρέπει να δείτε πόσο ισχυρό είναι το κυτταρικό τοίχωμα.
- (β) Σας επιτρέπει να δείτε τα διαφορετικά στρώματα που απαρτίζουν το κυτταρικό τοίχωμα.
- (γ) Σας επιτρέπει να αλλάξετε το χρώμα του κυτταρικού τοιχώματος.
- (δ) Δεν σας βοηθά να μάθετε τίποτα.

Ερώτηση 2: Χρησιμοποιείτε μια εφαρμογή ΕΠ για να συγκρίνετε ένα φυτικό και ένα ζωικό κύτταρο. Η εφαρμογή εμφανίζει και τα δύο κελιά δίπλα-δίπλα, με ετικέτες που εμφανίζονται όταν στρέφετε τη συσκευή σας σε κάθε μέρος. Ποιο είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης ΕΠ σε αυτήν την περίπτωση;

- (α) Η ΕΠ κάνει τα κελιά να φαίνονται πιο όμορφα.
- (β) Η ΕΠ σας επιτρέπει να βλέπετε τα κελιά σε ρεαλιστικό μέγεθος.
- (γ) Η ΕΠ σας βοηθά να συγκρίνετε εύκολα τα διάφορα μέρη των κελιών.
- (δ) Η ΕΠ σας επιτρέπει να τραβάτε φωτογραφίες των κελιών.

Ερώτηση 3: Γιατί οι επιστήμονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν μοντέλα ΕΠ για να μελετήσουν κύτταρα αντί να βλέπουν μόνο εικόνες;

- (α) Επειδή τα μοντέλα ΕΠ είναι πάντα τέλεια.
- (β) Για να δείτε το κύτταρο σε 3D και να αλληλεπιδράσετε μαζί του με νέους τρόπους.
- (γ) Επειδή τα πραγματικά κύτταρα είναι πολύ μικρά για να τα δούμε με μικροσκόπιο.
- (δ) Και το α και το β.

Ερώτηση 4: Σε ένα πείραμα ΕΠ, παρατηρείτε ότι τα κύτταρα χωρίς πυρήνα δεν μπορούν να διαιρεθούν. Τι συμπέρασμα μπορείτε να συμπεράνετε από αυτή την παρατήρηση;

- (α) Όλα τα κύτταρα διαιρούνται με τον ίδιο ρυθμό.
- (β) Ο πυρήνας είναι απαραίτητος για την κυτταρική διαίρεση.
- (γ) Το πείραμα ήταν κακώς σχεδιασμένο.

(δ) Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ πυρήνα και κυτταρικής διαίρεσης.

Ερώτηση 5: Ένας μαθητής χρησιμοποιεί ΕΠ για να εξετάσει ένα φυτικό κύτταρο και παρατηρεί ότι αλλάζει το σχήμα του. Τι μπορεί να συμπεράνει;

(α) Το κυτταρικό τοίχωμα είναι εύκαμπτο.

(β) Το κύτταρο προσαρμόζεται στο περιβάλλον.

(γ) Οι πληροφορίες μπορεί να είναι λανθασμένες λόγω εσφαλμένης προσομοίωσης.

(δ) Το κύτταρο συρρικνώνεται φυσιολογικά λόγω πίεσης.

Ερώτηση 6: Φανταστείτε ότι χρησιμοποιείτε μια εφαρμογή ΕΠ για να δείτε ένα φυτικό κύτταρο. Μπορείτε να πατήσετε σε διάφορα μέρη του κελιού για να δείτε τι κάνουν.

Χτυπάτε σε μια πράσινη δομή μέσα στο φυτικό κύτταρο. Ποια είναι πιο πιθανό να είναι αυτή η δομή;

(α) Πυρήνας

(β) Χλωροπλάστης

(γ) Κυτταρικό τοίχωμα

(δ) Μιτοχόνδρια

Ερώτηση 7: Στην προσομοίωση ΕΠ, αφαιρείτε τον πυρήνα από ένα κύτταρο. ΤΙ ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΑ θα συμβεί στο κύτταρο;

(α) Θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά.

(β) Θα μεγαλώσει.

(γ) Θα σταματήσει να λειτουργεί και τελικά θα πεθάνει.

(δ) Θα παράγει περισσότερη ενέργεια.

Ερώτηση 8: Χρησιμοποιείτε την ΕΠ για να δείτε μια μεγεθυμένη προβολή ενός κελιού. Αυτό σας βοηθά να καταλάβετε:

(α) Όλα τα κελιά έχουν το ίδιο μέγεθος.

(β) Οι μικροσκοπικές δομές που αποτελούν ένα κύτταρο.

(γ) Τα κύτταρα δεν είναι σημαντικά.

(δ) Τα κύτταρα βρίσκονται μόνο στα φυτά.

Μέρος 3: Φύση της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Πώς πιστεύεις ότι οι επιστήμονες μπορούν να καταλάβουν πώς τα κύτταρα αποφασίζουν πότε να πεθάνουν (αποπτωση); Τι ενδείξεις ή μηχανισμούς θα έψαχναν για να το εξηγήσουν;

Ερώτηση 2: Γιατί πιστεύεις ότι τα άτομα έχουν διαφορετικά χρώματα ματιών (π.χ. καστανά, πράσινα, μπλε); Πώς η μελέτη του DNA μας βοηθά να καταλάβουμε από πού προέρχονται αυτές οι διαφορές και πώς μεταδίδονται από γενιά σε γενιά;

Ερώτηση 3: Τα κύτταρα συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα σώμα, ένα φυτό ή έναν οργανισμό. Όμως, αν μπορούσαν να "σκεφτούν" και να αποφασίζουν μόνα τους...

Αν τα κύτταρα μπορούσαν να επιλέξουν πώς να λειτουργούν, τι νομίζεις ότι θα συνέβαινε στο σώμα μας ή στα φυτά; Ποιες θα ήταν οι συνέπειες για τη ζωή στη Γη;

Ερώτηση 4: Πώς πιστεύεις ότι τα εμβόλια επηρεάζουν τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος; Τι ενδείξεις ή πειράματα θα χρησιμοποιούσαν οι επιστήμονες για να καταλάβουν πώς τα εμβόλια βοηθούν τα κύτταρα να 'θυμούνται' και να πολεμούν τις λοιμώξεις;

Ερώτηση 5: Πώς πιστεύεις ότι η μελέτη των κυττάρων, του DNA, των μυκήτων και των βακτηρίων μπορεί να μας βοηθήσει να καταλάβουμε καλύτερα τον κόσμο γύρω μας;

Μπορείς να φανταστείς πώς αυτές οι γνώσεις μπορούν να συνδυαστούν για να λύσουν μεγάλα προβλήματα, όπως οι ασθένειες, η παραγωγή τροφίμων ή η προστασία του περιβάλλοντος;

Ερώτηση 6: Louis Pasteur: Η μυστική αποστολή των κυττάρων

Σενάριο: Βρίσκεσαι στο 1860 και δουλεύεις στο εργαστήριο του Louis Pasteur. Εκείνος έχει σχεδόν αποδείξει ότι τα μικρόβια δεν εμφανίζονται από το πουθενά, αλλά προέρχονται από τον αέρα. Όμως, κάποιοι επιστήμονες δεν τον πιστεύουν ακόμα! Ξαφνικά, ο Pasteur σου δίνει μια απίστευτη αποστολή: *"Χρειάζομαι τη βοήθειά σου! Πρέπει να μου φέρεις μια απόδειξη που να δείχνει πώς τα ζωντανά όντα αποτελούνται από κύτταρα και πώς τα κύτταρα προέρχονται μόνο από άλλα κύτταρα. Πήγαινε στο μέλλον και βρες έναν τρόπο να αποδείξουμε την αλήθεια!"*

Μαγικά, μεταφέρεσαι στο 2025!

Τώρα που βρίσκεσαι στο παρόν, έχεις στη διάθεσή σου μικροσκόπια τελευταίας τεχνολογίας, επαυξημένη πραγματικότητα και γνώσεις για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα.

Ποιο πείραμα ή ποιο επιστημονικό στοιχείο θα έδειχνες στον Pasteur για να τον βοηθήσεις να αποδείξει ότι όλα τα ζωντανά πλάσματα αποτελούνται από κύτταρα και ότι τα κύτταρα προέρχονται από άλλα κύτταρα;

Ερώτηση 7: Το πείραμα του Robert Hooke:

Το Μικροσκόπιο: Ο Robert Hooke χρησιμοποίησε ένα σύνθετο μικροσκόπιο, το οποίο είχε αναπτυχθεί πρόσφατα εκείνη την εποχή. Αυτό το μικροσκόπιο είχε πολλαπλούς φακούς και μπορούσε να μεγεθύνει αντικείμενα έως και 30 φορές.

Η Παρατήρηση του φελλού: Το 1665, ο Hooke παρατήρησε μια λεπτή τομή φελλού (κορμού δέντρου) κάτω από το μικροσκόπιο του. Ο φελλός ήταν μια ιδανική επιλογή για παρατήρηση, καθώς είναι ελαφρύς, εύκαμπτος και έχει μια απλή δομή.

Η Ανακάλυψη των "κυττάρων": Όταν ο Hooke παρατήρησε τον φελλό, είδε μια σειρά από μικροσκοπικές κοιλότητες που έμοιαζαν με κελιά (cells) σε ένα μοναστήρι. Αυτές οι κοιλότητες ήταν στην πραγματικότητα τα τοιχώματα νεκρών φυτικών κυττάρων. Ο Hooke τις ονόμασε "κύτταρα" (από τη λατινική λέξη "cellula", που σημαίνει "μικρό δωμάτιο").

Η σημασία του πειράματος

Η ανακάλυψη του κυττάρου: Η παρατήρηση του Hooke ήταν η πρώτη φορά που κάποιος περιέγραψε την ύπαρξη των κυττάρων. Αν και ο Hooke δεν κατάλαβε τη πλήρη σημασία των κυττάρων (δεν γνώριζε ότι είναι οι βασικές δομικές και λειτουργικές μονάδες των ζωντανών οργανισμών), η ανακάλυψή του έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της κυτταρικής θεωρίας τον 19ο αιώνα.

Σενάριο: Βρίσκεσαι στο εργαστήριο του Robert Hooke και έχεις την ευκαιρία να ξανακάνεις το πείραμά του για την ανακάλυψη των κυττάρων.

Τι θα άλλαζες στο πείραμα του για να το βελτιώσεις με τα σύγχρονα μέσα τεχνολογίας και επαυξημένης πραγματικότητας;

Παράρτημα 9

Εργαλείο μέτρησης επιστημονικού εγγραμματος για μαθητές ΣΤ' Δημοτικού

Οδηγίες προς τους μαθητές:

Καλείστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις με βάση τις γνώσεις σας και την κριτική σας σκέψη. Διαβάστε προσεκτικά κάθε ερώτηση και επιλέξτε ή γράψτε με δικά σας λόγια την απάντηση που θεωρείτε σωστή, βασιζόμενοι στις δικές σας παρατηρήσεις και γνώσεις για τα κύτταρα.

Μέρος 1: Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης

Ερώτηση 1: Όταν κόβεις ένα φρούτο, όπως ένα μήλο ή μια ντομάτα, τι βλέπεις στο εσωτερικό του; Αν μπορούσαμε να μεγεθύνουμε ακόμα περισσότερο, τι άλλα μικροσκοπικά πράγματα νομίζεις ότι θα βρίσκαμε;

Ερώτηση 2: Όλα τα φυτά είναι πράσινα; Αν όχι, γιατί κάποια είναι διαφορετικά;

Ερώτηση 3: Αν κοιτάξεις το δέρμα σου από πολύ κοντά, τι νομίζεις ότι θα δεις; Τι μπορεί να κρύβεται εκεί που δεν φαίνεται με γυμνό μάτι;

Ερώτηση 4: Αν μπορούσες να μπεις μέσα σε ένα κύτταρο, τι νομίζεις ότι θα έβλεπες γύρω σου; Περιέγραψε το ταξίδι σου μέσα σε αυτό.

Ερώτηση 5: Ποιες διαφορές νομίζεις ότι υπάρχουν ανάμεσα στα κύτταρα ενός φυτού και ενός ζώου όσον αφορά τον τρόπο ζωής τους;

Ερώτηση 6: Τι πιστεύεις ότι υπάρχει μέσα στο σώμα μας και κάνει τα διάφορα μέρη του να λειτουργούν;

Ερώτηση 7: Αν έπρεπε να φανταστείς από τι είναι φτιαγμένα τα φυτά και τα ζώα, τι θα έλεγες ότι υπάρχει στο εσωτερικό τους;

Ερώτηση 8: Αν κοιτάξεις τα χέρια σου και τα συγκρίνεις με τα φύλλα ενός φυτού, τι νομίζεις ότι μπορεί να είναι ίδιο και τι διαφορετικό στην επιφάνειά τους;

Μέρος 2: Διαδικασίες της επιστήμης

Ερώτηση 1: Φανταστείτε ότι χρησιμοποιείτε μια εκπαιδευτική προσομοίωση για να εξερευνήσετε ένα φυτικό κύτταρο. Η εφαρμογή σας επιτρέπει να αφαιρέσετε τα διαφορετικά στρώματα του κυτταρικού τοιχώματος. Πώς σας βοηθά αυτό να μάθετε για το κυτταρικό τοίχωμα;

- (α) Σας επιτρέπει να δείτε πόσο ισχυρό είναι το κυτταρικό τοίχωμα.
- (β) Σας επιτρέπει να δείτε τα διαφορετικά στρώματα που απαρτίζουν το κυτταρικό τοίχωμα.
- (γ) Σας επιτρέπει να αλλάξετε το χρώμα του κυτταρικού τοιχώματος.
- (δ) Δεν σας βοηθά να μάθετε τίποτα.

Ερώτηση 2: Χρησιμοποιείτε μια εκπαιδευτική προσομοίωση για να συγκρίνετε ένα φυτικό και ένα ζωικό κύτταρο. Η εφαρμογή εμφανίζει και τα δύο κελιά δίπλα-δίπλα, με ετικέτες που εμφανίζονται όταν στρέψετε τη συσκευή σας σε κάθε μέρος. Ποιο είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης εκπαιδευτικών προσομοιώσεων σε αυτήν την περίπτωση;

- (α) Η εκπαιδευτική προσομοίωση κάνει τα κελιά να φαίνονται πιο όμορφα.
- (β) Η εκπαιδευτική προσομοίωση σας επιτρέπει να βλέπετε τα κελιά σε ρεαλιστικό μέγεθος.
- (γ) Η εκπαιδευτική προσομοίωση σας βοηθά να συγκρίνετε εύκολα τα διάφορα μέρη των κελιών.
- (δ) Η εκπαιδευτική προσομοίωση σας επιτρέπει να τραβάτε φωτογραφίες των κελιών.

Ερώτηση 3: Γιατί οι επιστήμονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν εκπαιδευτικές προσομοιώσεις για να μελετήσουν κύτταρα αντί να βλέπουν μόνο εικόνες;

- (α) Επειδή τα μοντέλα εκπαιδευτικών προσομοιώσεων είναι πάντα τέλεια.
- (β) Για να δείτε το κύτταρο σε 3D και να αλληλεπιδράσετε μαζί του με νέους τρόπους.
- (γ) Επειδή τα πραγματικά κύτταρα είναι πολύ μικρά για να τα δούμε με μικροσκόπιο.
- (δ) Και το α και το β.

Ερώτηση 4: Σε ένα πείραμα μέσω εκπαιδευτικής προσομοίωσης, παρατηρείτε ότι τα κύτταρα χωρίς πυρήνα δεν μπορούν να διαιρεθούν. Τι συμπέρασμα μπορείτε να συμπεράνετε από αυτή την παρατήρηση;

- (α) Όλα τα κύτταρα διαιρούνται με τον ίδιο ρυθμό.
- (β) Ο πυρήνας είναι απαραίτητος για την κυτταρική διαίρεση.
- (γ) Το πείραμα ήταν κακώς σχεδιασμένο.
- (δ) Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ πυρήνα και κυτταρικής διαίρεσης..

Ερώτηση 5: Ένας μαθητής χρησιμοποιεί μια εκπαιδευτική προσομοίωση για να εξετάσει ένα φυτικό κύτταρο και παρατηρεί ότι αλλάζει το σχήμα του. Τι μπορεί να συμπεράνει;

- (α) Το κυτταρικό τοίχωμα είναι εύκαμπτο.
- (β) Το κύτταρο προσαρμόζεται στο περιβάλλον.
- (γ) Οι πληροφορίες μπορεί να είναι λανθασμένες λόγω εσφαλμένης προσομοίωσης.
- (δ) Το κύτταρο συρρικνώνεται φυσιολογικά λόγω πίεσης.

Ερώτηση 6: Σενάριο: Φανταστείτε ότι χρησιμοποιείτε μια εκπαιδευτική προσομοίωση για να δείτε ένα φυτικό κύτταρο. Μπορείτε να πατήσετε σε διάφορα μέρη του κελιού για να δείτε τι κάνουν.

Χτυπάτε σε μια πράσινη δομή μέσα στο φυτικό κύτταρο. Ποια είναι πιο πιθανό να είναι αυτή η δομή;

- (α) Πυρήνας
- (β) Χλωροπλάστης
- (γ) Κυτταρικό τοίχωμα
- (δ) Μιτοχόνδρια

Ερώτηση 7: Σε εκπαιδευτική προσομοίωση, αφαιρείτε τον πυρήνα από ένα κύτταρο. Τι ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΑ θα συμβεί στο κύτταρο;

- (α) Θα συνεχίσει να λειτουργεί κανονικά.
- (β) Θα μεγαλώσει.
- (γ) Θα σταματήσει να λειτουργεί και τελικά θα πεθάνει.
- (δ) Θα παράγει περισσότερη ενέργεια.

Ερώτηση 8: Χρησιμοποιείτε μια εκπαιδευτική προσομοίωση για να δείτε μια μεγεθυμένη προβολή ενός κελιού. Αυτό σας βοηθά να καταλάβετε:

- (α) Ότι όλα τα κελιά έχουν το ίδιο μέγεθος.
- (β) Οι μικροσκοπικές δομές που αποτελούν ένα κύτταρο.
- (γ) Ότι τα κύτταρα δεν είναι σημαντικά.
- (δ) Ότι τα κύτταρα βρίσκονται μόνο στα φυτά.

Μέρος 3: Φύση της Επιστήμης

(Πώς λειτουργεί η επιστήμη, πώς αλλάζουν οι θεωρίες)

Ερώτηση 1: Πώς πιστεύεις ότι οι επιστήμονες μπορούν να καταλάβουν πώς τα κύτταρα αποφασίζουν πότε να πεθάνουν (αποπτωση); Τι ενδείξεις ή μηχανισμούς θα έψαχναν για να το εξηγήσουν;

Ερώτηση 2: Γιατί πιστεύεις ότι τα άτομα έχουν διαφορετικά χρώματα ματιών (π.χ. καστανά, πράσινα, μπλε); Πώς η μελέτη του DNA μας βοηθά να καταλάβουμε από πού προέρχονται αυτές οι διαφορές και πώς μεταδίδονται από γενιά σε γενιά;

Ερώτηση 3: Τα κύτταρα συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα σώμα, ένα φυτό ή έναν οργανισμό. Όμως, αν μπορούσαν να "σκεφτούν" και να αποφασίζουν μόνοι τους...

Αν τα κύτταρα μπορούσαν να επιλέξουν πώς να λειτουργούν, τι νομίζεις ότι θα συνέβαινε στο σώμα μας ή στα φυτά; Ποιες θα ήταν οι συνέπειες για τη ζωή στη Γη;

Ερώτηση 4: Πώς πιστεύεις ότι τα εμβόλια επηρεάζουν τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος; Τι ενδείξεις ή πειράματα θα χρησιμοποιούσαν οι επιστήμονες για να καταλάβουν πώς τα εμβόλια βοηθούν τα κύτταρα να 'θυμούνται' και να πολεμούν τις λοιμώξεις;

Ερώτηση 5: Πώς πιστεύεις ότι η μελέτη των κυττάρων, του DNA, των μυκήτων και των βακτηρίων μπορεί να μας βοηθήσει να καταλάβουμε καλύτερα τον κόσμο γύρω μας; Μπορείς να φανταστείς πώς αυτές οι γνώσεις μπορούν να συνδυαστούν για να λύσουν μεγάλα προβλήματα, όπως οι ασθένειες, η παραγωγή τροφίμων ή η προστασία του περιβάλλοντος;

Ερώτηση 6: Louis Pasteur: Η μυστική αποστολή των κυττάρων

Σενάριο: Βρίσκεσαι στο 1860 και δουλεύεις στο εργαστήριο του Louis Pasteur. Εκείνος έχει σχεδόν αποδείξει ότι τα μικρόβια δεν εμφανίζονται από το πουθενά, αλλά προέρχονται από τον αέρα. Όμως, κάποιοι επιστήμονες δεν τον πιστεύουν ακόμα! Ξαφνικά, ο Pasteur σου δίνει μια απίστευτη αποστολή: *"Χρειάζομαι τη βοήθειά σου! Πρέπει να μου φέρεις μια απόδειξη που να δείχνει πώς τα ζωντανά όντα αποτελούνται από κύτταρα και πώς τα κύτταρα προέρχονται μόνο από άλλα κύτταρα. Πήγαινε στο μέλλον και βρες έναν τρόπο να αποδείξουμε την αλήθεια!"*

Μαγικά, μεταφέρεσαι στο 2025!

Ερώτηση:

Τώρα που βρίσκεσαι στο παρόν, έχεις στη διάθεσή σου μικροσκόπια τελευταίας τεχνολογίας, επαυξημένη πραγματικότητα και γνώσεις για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα.

Ποιο πείραμα ή ποιο επιστημονικό στοιχείο θα έδειχνες στον Pasteur για να τον βοηθήσεις να αποδείξει ότι όλα τα ζωντανά πλάσματα αποτελούνται από κύτταρα και ότι τα κύτταρα προέρχονται από άλλα κύτταρα;

Ερώτηση 7: Το πείραμα του Robert Hooke:

Το Μικροσκόπιο: Ο Robert Hooke χρησιμοποίησε ένα σύνθετο μικροσκόπιο, το οποίο είχε αναπτυχθεί πρόσφατα εκείνη την εποχή. Αυτό το μικροσκόπιο είχε πολλαπλούς φακούς και μπορούσε να μεγεθύνει αντικείμενα έως και 30 φορές.

Η Παρατήρηση του φελλού: Το 1665, ο Hooke παρατήρησε μια λεπτή τομή φελλού (κορμού δέντρου) κάτω από το μικροσκόπιο του. Ο φελλός ήταν μια ιδανική επιλογή για παρατήρηση, καθώς είναι ελαφρύς, εύκαμπτος και έχει μια απλή δομή.

Η ανακάλυψη των "κυττάρων": Όταν ο Hooke παρατήρησε τον φελλό, είδε μια σειρά από μικροσκοπικές κοιλότητες που έμοιαζαν με κελιά (cells) σε ένα μοναστήρι. Αυτές οι κοιλότητες ήταν στην πραγματικότητα τα τοιχώματα νεκρών φυτικών κυττάρων. Ο Hooke τις ονόμασε "κύτταρα" (από τη λατινική λέξη "cellula", που σημαίνει "μικρό δωμάτιο").

Η σημασία του πειράματος

Η ανακάλυψη του κυττάρου: Η παρατήρηση του Hooke ήταν η πρώτη φορά που κάποιος περιέγραψε την ύπαρξη των κυττάρων. Αν και ο Hooke δεν κατάλαβε τη πλήρη σημασία των κυττάρων (δεν γνώριζε ότι είναι οι βασικές δομικές και λειτουργικές μονάδες των ζωντανών οργανισμών), η ανακάλυψή του έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της κυτταρικής θεωρίας τον 19ο αιώνα.

Σενάριο: Βρίσκεσαι στο εργαστήριο του Robert Hooke και έχεις την ευκαιρία να ξανακάνεις το πείραμά του για την ανακάλυψη των κυττάρων.

Τι θα άλλαζες στο πείραμα του για να το βελτιώσεις με τα σύγχρονα μέσα τεχνολογίας και επαυξημένης πραγματικότητας;

Παράρτημα 10

Εργαλείο μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού για μαθητές ΣΤ' Δημοτικού

Οδηγίες προς τους μαθητές:

Καλείστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις με βάση τις γνώσεις σας και την κριτική σας σκέψη. Διαβάστε προσεκτικά κάθε ερώτηση και επιλέξτε ή γράψτε με δικά σας λόγια την απάντηση που θεωρείτε σωστή, βασιζόμενοι στις δικές σας παρατηρήσεις και γνώσεις για τα κύτταρα.

Μέρος 1: Γνώσεις του Περιεχομένου της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Όταν κόβεις ένα φρούτο, όπως ένα μήλο ή μια ντομάτα, τι βλέπεις στο εσωτερικό του; Αν μπορούσαμε να μεγεθύνουμε ακόμα περισσότερο, τι άλλα μικροσκοπικά πράγματα νομίζεις ότι θα βρίσκαμε;

Ερώτηση 2: Όλα τα φυτά είναι πράσινα; Αν όχι, γιατί κάποια είναι διαφορετικά;

Ερώτηση 3: Αν κοιτάξεις το δέρμα σου από πολύ κοντά, τι νομίζεις ότι θα δεις; Τι μπορεί να κρύβεται εκεί που δεν φαίνεται με γυμνό μάτι;

Ερώτηση 4: Αν μπορούσες να μπεις μέσα σε ένα κύτταρο, τι νομίζεις ότι θα έβλεπες γύρω σου; Περιέγραψε το ταξίδι σου μέσα σε αυτό.

Ερώτηση 5: Ποιες διαφορές νομίζεις ότι υπάρχουν ανάμεσα στα κύτταρα ενός φυτού και ενός ζώου όσον αφορά τον τρόπο ζωής τους;

Ερώτηση 6: Τι πιστεύεις ότι υπάρχει μέσα στο σώμα μας και κάνει τα διάφορα μέρη του να λειτουργούν;

Ερώτηση 7: Αν έπρεπε να φανταστείς από τι είναι φτιαγμένα τα φυτά και τα ζώα, τι θα έλεγες ότι υπάρχει στο εσωτερικό τους;

Ερώτηση 8: Αν κοιτάξεις τα χέρια σου και τα συγκρίνεις με τα φύλλα ενός φυτού, τι νομίζεις ότι μπορεί να είναι ίδιο και τι διαφορετικό στην επιφάνειά τους;

Μέρος 2: Διαδικασίες της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Φανταστείτε ότι παρατηρείτε ένα διάγραμμα φυτικού κυττάρου στο βιβλίο σας. Το διάγραμμα δείχνει το κυτταρικό τοίχωμα με διακεκομμένες γραμμές και ετικέτες. Πώς σας βοηθά αυτό να μάθετε για το κυτταρικό τοίχωμα;

(α) Σας δείχνει πόσο ισχυρό είναι το κυτταρικό τοίχωμα.

(β) Σας επιτρέπει να αναγνωρίσετε τα διαφορετικά μέρη του κυτταρικού τοιχώματος.

(γ) Σας επιτρέπει να αλλάξετε το χρώμα του κυττάρου.

(δ) Δεν σας βοηθά να μάθετε τίποτα.

Ερώτηση 2: Κοιτάτε δύο εικόνες: μία φυτικού και μία ζωικού κυττάρου, τοποθετημένες δίπλα-δίπλα σε φύλλο εργασίας. Κάθε μέρος έχει ξεχωριστή ετικέτα. Ποιο είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της παρουσίασης;

(α) Οι εικόνες κάνουν τα κύτταρα να φαίνονται πιο όμορφα.

(β) Βλέπετε τα κύτταρα στο φυσικό τους μέγεθος.

(γ) Σας βοηθούν να συγκρίνετε εύκολα τα διάφορα μέρη των κυττάρων.

(δ) Σας επιτρέπουν να τα χρωματίσετε.

Ερώτηση 3: Γιατί οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διαγράμματα και μοντέλα (π.χ. πλαστικά ή από χαρτόνι) για να μελετήσουν κύτταρα αντί να βασίζονται μόνο σε εικόνες;

(α) Επειδή τα μοντέλα είναι πάντα σωστά.

(β) Για να δουν το κύτταρο σε τρεις διαστάσεις και να το αναλύσουν πιο εύκολα.

(γ) Επειδή τα πραγματικά κύτταρα δεν φαίνονται στο μικροσκόπιο.

(δ) Και το α και το β.

Ερώτηση 4: Σε ένα πείραμα στην τάξη, μαθαίνετε ότι τα κύτταρα χωρίς πυρήνα δεν διαιρούνται. Ποιο είναι το συμπέρασμά σας;

(α) Όλα τα κύτταρα διαιρούνται με τον ίδιο τρόπο.

(β) Ο πυρήνας είναι απαραίτητος για την κυτταρική διαίρεση.

(γ) Το πείραμα ήταν λανθασμένο.

(δ) Δεν υπάρχει σχέση πυρήνα και διαίρεσης.

Ερώτηση 5: Ένας μαθητής διαβάζει στο βιβλίο του ότι το φυτικό κύτταρο αλλάζει σχήμα όταν ασκείται πίεση. Τι μπορεί να συμπεράνει;

(α) Το κυτταρικό τοίχωμα είναι εύκαμπτο.

(β) Το κύτταρο προσαρμόζεται στο περιβάλλον.

(γ) Οι πληροφορίες ίσως είναι λάθος.

(δ) Το κύτταρο συρρικνώνεται λόγω πίεσης.

Ερώτηση 6: Βλέπετε μια εικόνα με τις εσωτερικές δομές ενός φυτικού κυττάρου. Μία από τις δομές είναι πράσινη. Ποια είναι πιθανότερα αυτή η δομή;

- (α) Πυρήνας
- (β) Χλωροπλάστης
- (γ) Κυτταρικό τοίχωμα
- (δ) Μιτοχόνδρια

Ερώτηση 7: Σε μια άσκηση του βιβλίου, σας ζητούν να φανταστείτε τι θα συμβεί αν αφαιρέσετε τον πυρήνα από ένα κύτταρο. Τι ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΑ θα συμβεί;

- (α) Θα συνεχίσει να λειτουργεί.
- (β) Θα μεγαλώσει.
- (γ) Θα σταματήσει να λειτουργεί και τελικά θα πεθάνει.
- (δ) Θα παράγει περισσότερη ενέργεια.

Ερώτηση 8: Σε μια μεγεθυμένη εικόνα ενός κυττάρου από το βιβλίο, παρατηρείτε λεπτομέρειες που δεν φαίνονται αλλιώς. Αυτό σας βοηθά να καταλάβετε:

- (α) Όλα τα κύτταρα είναι ίδια.
- (β) Τις μικροσκοπικές δομές που υπάρχουν μέσα σε ένα κύτταρο.
- (γ) Τα κύτταρα δεν είναι σημαντικά.
- (δ) Τα κύτταρα βρίσκονται μόνο στα φυτά.

Μέρος 3: Φύση της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πώς πιστεύεις ότι οι επιστήμονες μπορούν να καταλάβουν πώς τα κύτταρα αποφασίζουν πότε να πεθάνουν (αποπτωση); Τι ενδείξεις ή μηχανισμούς θα έψαχναν για να το εξηγήσουν;

Ερώτηση 2: Γιατί πιστεύεις ότι τα άτομα έχουν διαφορετικά χρώματα ματιών (π.χ. καστανά, πράσινα, μπλε); Πώς η μελέτη του DNA μας βοηθά να καταλάβουμε από πού προέρχονται αυτές οι διαφορές και πώς μεταδίδονται από γενιά σε γενιά;

Ερώτηση 3: Τα κύτταρα συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα σώμα, ένα φυτό ή έναν οργανισμό. Όμως, αν μπορούσαν να "σκεφτούν" και να αποφασίζουν μόνα τους...Αν τα κύτταρα μπορούσαν να επιλέξουν πώς να λειτουργούν, τι νομίζεις ότι θα συνέβαινε στο σώμα μας ή στα φυτά; Ποιες θα ήταν οι συνέπειες για τη ζωή στη Γη;

Ερώτηση 4: Πώς πιστεύεις ότι τα εμβόλια επηρεάζουν τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος; Τι ενδείξεις ή πειράματα θα χρησιμοποιούσαν οι επιστήμονες για να καταλάβουν πώς τα εμβόλια βοηθούν τα κύτταρα να 'θυμούνται' και να πολεμούν τις λοιμώξεις;

Ερώτηση 5: Πώς πιστεύεις ότι η μελέτη των κυττάρων, του DNA, των μυκήτων και των βακτηρίων μπορεί να μας βοηθήσει να καταλάβουμε καλύτερα τον κόσμο γύρω μας; Μπορείς να φανταστείς πώς αυτές οι γνώσεις μπορούν να συνδυαστούν για να λύσουν μεγάλα προβλήματα, όπως οι ασθένειες, η παραγωγή τροφίμων ή η προστασία του περιβάλλοντος;

Ερώτηση 6: Louis Pasteur: Η μυστική αποστολή των κυττάρων

Σενάριο: Βρίσκεσαι στο 1860 και δουλεύεις στο εργαστήριο του Louis Pasteur. Εκείνος έχει σχεδόν αποδείξει ότι τα μικρόβια δεν εμφανίζονται από το πουθενά, αλλά προέρχονται από τον αέρα. Όμως, κάποιοι επιστήμονες δεν τον πιστεύουν ακόμα! Ξαφνικά, ο Pasteur

σου δίνει μια απίστευτη αποστολή:
"Χρειάζομαι τη βοήθειά σου! Πρέπει να μου φέρεις μια απόδειξη που να δείχνει πώς τα ζωντανά όντα αποτελούνται από κύτταρα και πώς τα κύτταρα προέρχονται μόνο από άλλα κύτταρα. Πήγαινε στο μέλλον και βρες έναν τρόπο να αποδείξουμε την αλήθεια!"

Μαγικά, μεταφέρεσαι στο 2025!

Ερώτηση:

Τώρα που βρίσκεσαι στο παρόν, έχεις στη διάθεσή σου μικροσκόπια τελευταίας τεχνολογίας, επαυξημένη πραγματικότητα και γνώσεις για τα φυτικά και ζωικά κύτταρα.

Ποιο πείραμα ή ποιο επιστημονικό στοιχείο θα έδειχνες στον Pasteur για να τον βοηθήσεις να αποδείξει ότι όλα τα ζωντανά πλάσματα αποτελούνται από κύτταρα και ότι τα κύτταρα προέρχονται από άλλα κύτταρα;

Ερώτηση 7: Το πείραμα του Robert Hooke:

Το μικροσκόπιο: Ο Robert Hooke χρησιμοποίησε ένα σύνθετο μικροσκόπιο, το οποίο είχε αναπτυχθεί πρόσφατα εκείνη την εποχή. Αυτό το μικροσκόπιο είχε πολλαπλούς φακούς και μπορούσε να μεγεθύνει αντικείμενα έως και 30 φορές.

Η παρατήρηση του φελλού: Το 1665, ο Hooke παρατήρησε μια λεπτή τομή φελλού (κορμού δέντρου) κάτω από το μικροσκόπιο του. Ο φελλός ήταν μια ιδανική επιλογή για παρατήρηση, καθώς είναι ελαφρύς, εύκαμπτος και έχει μια απλή δομή.

Η ανακάλυψη των "κυττάρων": Όταν ο Hooke παρατήρησε τον φελλό, είδε μια σειρά από μικροσκοπικές κοιλότητες που έμοιαζαν με κελιά (cells) σε ένα μοναστήρι. Αυτές οι κοιλότητες ήταν στην πραγματικότητα τα τοιχώματα νεκρών φυτικών κυττάρων. Ο Hooke τις ονόμασε "κύτταρα" (από τη λατινική λέξη "cellula", που σημαίνει "μικρό δωμάτιο").

Η σημασία του πειράματος

Η ανακάλυψη του κυττάρου: Η παρατήρηση του Hooke ήταν η πρώτη φορά που κάποιος περιέγραψε την ύπαρξη των κυττάρων. Αν και ο Hooke δεν κατάλαβε τη πλήρη σημασία των κυττάρων (δεν γνώριζε ότι είναι οι βασικές δομικές και λειτουργικές μονάδες των

ζωντανών οργανισμών), η ανακάλυψή του έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της κυτταρικής θεωρίας τον 19ο αιώνα.

Σενάριο: Βρίσκεσαι στο εργαστήριο του Robert Hooke και έχεις την ευκαιρία να ξανακάνεις το πείραμά του για την ανακάλυψη των κυττάρων.

Τι θα άλλαζες στο πείραμα του για να το βελτιώσεις με τα σύγχρονα μέσα τεχνολογίας και επαυξημένης πραγματικότητας;

Παράρτημα 11

Εργαλείο μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού για μαθητές ΣΤ' Δημοτικού

Οδηγίες προς τους μαθητές:

Καλείστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις με βάση τις γνώσεις σας και την κριτική σας σκέψη. Διαβάστε προσεκτικά κάθε ερώτηση και επιλέξτε ή γράψτε με δικά σας λόγια την απάντηση που θεωρείτε σωστή, βασιζόμενοι στις δικές σας παρατηρήσεις και γνώσεις για τα κύτταρα.

Μέρος 1: Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πριν, πώς φανταζόσασταν ένα ταξίδι μέσα σε ένα κύτταρο; Τώρα, μετά την εξερεύνηση με επαυξημένη πραγματικότητα, τι νέα πράγματα ανακαλύψατε;

Ερώτηση 2: Ποια είναι η λειτουργία του κυτταρικού τοιχώματος στα φυτικά κύτταρα και πώς διαφέρει από τη λειτουργία της κυτταρικής μεμβράνης;

Ερώτηση 3: Γιατί πιστεύεις ότι το φυτό χρειάζεται το κυτταρικό τοίχωμα;

Ερώτηση 4: Ποια διαδικασία επιτρέπει στα κύτταρα να παράγουν ενέργεια;

Ερώτηση 5: Τι συμβαίνει σε έναν οργανισμό όταν τα κύτταρά του δεν λειτουργούν σωστά;

Ερώτηση 6: Πιστεύεις ότι τα κύτταρα όλων των φυτών είναι ίδια; Εξήγησε.

Ερώτηση 7: Ποιο είναι το βασικό συστατικό της φωτοσύνθεσης;

Ερώτηση 8: Αν μπορούσες να δεις το DNA ενός κυττάρου με ένα ιδιαίτερο μικροσκόπιο, πώς θα το περιέγραφες; Τι νομίζεις ότι κάνει αυτό το μόριο μέσα στο κύτταρο;

Μέρος 2: Διαδικασίες της επιστήμης

Ερώτηση 1: Παρατηρείς ένα ζωικό κύτταρο με μικροσκόπιο και βλέπεις μια μικρή δομή που κινείται γρήγορα. Τι πιθανότερα είναι αυτή;

- (α) Πυρήνας
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Λυσόσωμα
- (δ) Κυτταρικό τοίχωμα

Ερώτηση 2: Χρησιμοποιείς μια εφαρμογή ΕΠ για να δεις πώς διαιρείται ένα κύτταρο. Ποιο από τα παρακάτω είναι το πιο σημαντικό συμπέρασμα;

- (α) Όλα τα κύτταρα διαιρούνται με την ίδια ταχύτητα.
- (β) Ο πυρήνας ελέγχει τη διαίρεση.
- (γ) Τα κύτταρα χωρίζονται τυχαία.
- (δ) Η διαίρεση εξαρτάται από το φως.

Ερώτηση 3: Με ΕΠ, βλέπεις ένα φυτικό και ένα ζωικό κύτταρο. Ποια δομή υπάρχει μόνο στο φυτικό;

- (α) Χλωροπλάστης
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Πυρήνας
- (δ) Κυτταροπλάσμα

Ερώτηση 4: Βρίσκεστε "παγιδευμένοι" μέσα σε ένα φυτικό κύτταρο! Για να βγείτε, πρέπει να λύσετε το γρίφο: *«Είμαι πράσινος, φτιάχνω τροφή, αλλά δεν είμαι πυρήνας. Ποιος είμαι;»*

- (α) Χλωροπλάστης
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Κυτταρικό τοίχωμα
- (δ) Κυτταρόπλασμα

Ερώτηση 5: Τι συμβαίνει αν αφαιρεθεί ο πυρήνας από ένα κύτταρο κατά τη διαίρεση;

- (α) Το κύτταρο διαιρείται γρηγορότερα
- (β) Η διαίρεση **σταματάει**
- (γ) Δημιουργούνται περισσότερα μιτοχόνδρια
- (δ) Το κύτταρο *αλλάζει χρώμα*

Ερώτηση 6: Τι θα συνέβαινε αν τα **μιτοχόνδρια** σταματούσαν να λειτουργούν;

- (α) Το κύτταρο θα έπαιρνε **περισσότερο φως**
- (β) Θα **έλειπε ενέργεια** και το κύτταρο θα πέθαινε
- (γ) Θα γινόταν πιο πράσινο
- (δ) Θα μεγάλωνε σε μέγεθος

Ερώτηση 7: Ένας μαθητής κάνει ένα πείραμα για να δει αν τα φυτικά κύτταρα αναπτύσσονται πιο γρήγορα στο ηλιακό φως ή στη σκιά. Ποιο είναι το ΠΙΟ σημαντικό πράγμα που χρειάζονται για να διατηρήσουν το ΙΔΙΟ τόσο στις ομάδες ηλιακού φωτός όσο και στη σκιά;

- (α) Ο τύπος των φυτικών κυττάρων
- (β) Η ποσότητα νερού
- (γ) Ο τύπος του δοχείου
- (δ) Όλα τα παραπάνω

Ερώτηση 8: Ποιο από αυτά είναι το ΚΑΛΥΤΕΡΟ παράδειγμα επιστημονικής παρατήρησης για τα κύτταρα;

- (α) Τα κύτταρα είναι καταπληκτικά!
- (β) Νομίζω ότι τα κύτταρα μοιάζουν με μικροσκοπικά δομικά στοιχεία.
- (γ) Τα κύτταρα είναι πολύ μικρά για να τα δούμε χωρίς μικροσκόπιο.
- (δ) Μακάρι να μην χρειαζόταν να μάθω για τα κύτταρα.

Μέρος 3: Φύση της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πώς πιστεύεις ότι τα κύτταρα του ανοσοποιητικού μας συστήματος "μαθαίνουν" να πολεμούν ιούς μετά από ένα εμβόλιο;

Ερώτηση 2: Σε έναν πλανήτη που ανακαλύψαμε, τα κύτταρα των ζώων έχουν χλωροπλάστες, όπως τα φυτά. Πώς θα άλλαζε αυτό τον τρόπο ζωής τους;

Ερώτηση 3: Ένα ζωικό κύτταρο έχει "**αρρωστήσει**" (ο πυρήνας του δεν λειτουργεί). Με μαγικά **γάντια**, μπορείτε να:

- Αντικαταστήσετε τον πυρήνα.
- Προσθέσετε **βιταμίνες** στα μιτοχόνδρια.
- Καθαρίσετε τις **τοξίνες**.

Επιλέξτε 2 ενέργειες και εξηγήστε **γιατί** θα βοηθήσουν.

Ερώτηση 4: Πως θα χρησιμοποιούσες την τεχνολογία AR για να μελετήσεις τα κύτταρα ενός δέντρου και να καταλάβεις πώς αντιδρά σε κλιματική αλλαγή;

Ερώτηση 5: Φανταστείτε η τεχνολογία AR να γίνει τόσο προηγμένη που μπορούμε να «σχεδιάσουμε» τα δικά μας φυτικά και ζωικά κύτταρα με νέα χαρακτηριστικά. Ποια είναι μερικά ηθικά ερωτήματα που πρέπει να λάβουμε υπόψη πριν αρχίσουμε να αλλάζουμε τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία της ζωής;

Ερώτηση 6: Στο μέλλον, οι επιστήμονες δημιουργούν τεχνητά κύτταρα που μπορούν να θεραπεύουν ασθένειες. Πώς πιστεύεις ότι αυτά τα κύτταρα θα διαφέρουν από τα φυσικά; Τι κινδύνους ή οφέλη θα μπορούσε να έχει αυτή η τεχνολογία;

Ερώτηση 7: Αν τα κύτταρα είχαν "αυτοσυνείδηση" και μπορούσαν να διαμαρτυρηθούν για τη δουλειά τους (π.χ. "Δεν θέλω να παραγάγω ενέργεια σήμερα!"), τι θα συνέβαινε στο σώμα μας; Φαντάσου και περιέγραψε μια μέρα στη ζωή ενός "επιθετικού" κυττάρου.

Παράρτημα 12

Εργαλείο μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού για μαθητές ΣΤ' Δημοτικού

Οδηγίες προς τους μαθητές:

Καλείστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις με βάση τις γνώσεις σας και την κριτική σας σκέψη. Διαβάστε προσεκτικά κάθε ερώτηση και επιλέξτε ή γράψτε με δικά σας λόγια την απάντηση που θεωρείτε σωστή, βασιζόμενοι στις δικές σας παρατηρήσεις και γνώσεις για τα κύτταρα.

Μέρος 1: Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πριν, πώς φανταζόσασταν ένα ταξίδι μέσα σε ένα κύτταρο; Τώρα, μετά την εξερεύνηση με την προσομοίωση, τι νέα πράγματα ανακαλύψατε;

Ερώτηση 2: Ποια είναι η λειτουργία του κυτταρικού τοιχώματος στα φυτικά κύτταρα και πώς διαφέρει από τη λειτουργία της κυτταρικής μεμβράνης;

Ερώτηση 3: Γιατί πιστεύεις ότι το φυτό χρειάζεται το κυτταρικό τοίχωμα;

Ερώτηση 4: Ποια διαδικασία επιτρέπει στα κύτταρα να παράγουν ενέργεια;

Ερώτηση 5: Τι συμβαίνει σε έναν οργανισμό όταν τα κύτταρά του δεν λειτουργούν σωστά;

Ερώτηση 6: Πιστεύεις ότι τα κύτταρα όλων των φυτών είναι ίδια; Εξήγησε.

Ερώτηση 7: Ποιο είναι το βασικό συστατικό της φωτοσύνθεσης;

Ερώτηση 8: Αν μπορούσες να δεις το DNA ενός κυττάρου με ένα ιδιαίτερο μικροσκόπιο, πώς θα το περιέγραφες; Τι νομίζεις ότι κάνει αυτό το μόριο μέσα στο κύτταρο;

Μέρος 2: Διαδικασίες της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Παρατηρείς ένα ζωικό κύτταρο με μικροσκόπιο και βλέπεις μια μικρή δομή που κινείται γρήγορα. Τι πιθανότατα είναι αυτή;

- (α) Πυρήνας
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Λυσόσωμα
- (δ) Κυτταρικό τοίχωμα

Ερώτηση 2: Χρησιμοποιείς μια εκπαιδευτική προσομοίωση για να δεις πώς διαιρείται ένα κύτταρο. Ποιο από τα παρακάτω είναι το πιο σημαντικό συμπέρασμα;

- (α) Όλα τα κύτταρα διαιρούνται με την ίδια ταχύτητα.
- (β) Ο πυρήνας ελέγχει τη διαίρεση.
- (γ) Τα κύτταρα χωρίζονται τυχαία.
- (δ) Η διαίρεση εξαρτάται από το φως.

Ερώτηση 3: Με εκπαιδευτική προσομοίωση, βλέπεις ένα φυτικό και ένα ζωικό κύτταρο. Ποια δομή υπάρχει μόνο στο φυτικό;

- (α) Χλωροπλάστης
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Πυρήνας
- (δ) Κυτταροπλάσμα

Ερώτηση 4: Βρίσκεστε "παγιδευμένοι" μέσα σε ένα φυτικό κύτταρο! Για να βγείτε, πρέπει να λύσετε το γρίφο: «Είμαι πράσινος, φτιάχνω τροφή, αλλά δεν είμαι πυρήνας. Ποιος είμαι;»

- (α) Χλωροπλάστης
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Λυσόσωμα

Ερώτηση 5: Τι συμβαίνει αν αφαιρεθεί ο πυρήνας από ένα κύτταρο κατά τη διαίρεση;

- (α) Το κύτταρο διαιρείται γρηγορότερα
- (β) Η διαίρεση σταματάει
- (γ) Δημιουργούνται περισσότερα μιτοχόνδρια
- (δ) Το κύτταρο αλλάζει χρώμα

Ερώτηση 6: Τι θα συνέβαινε αν τα μιτοχόνδρια σταματούσαν να λειτουργούν;

- (α) Το κύτταρο θα έπαιρνε περισσότερο φως
- (β) Θα έλειπε ενέργεια και το κύτταρο θα πέθαινε
- (γ) Θα γινόταν πιο πράσινο
- (δ) Θα μεγάλωνε σε μέγεθος

Ερώτηση 7: Ένας μαθητής κάνει ένα πείραμα για να δει αν τα φυτικά κύτταρα αναπτύσσονται πιο γρήγορα στο ηλιακό φως ή στη σκιά. Ποιο είναι το ΠΙΟ σημαντικό πράγμα που χρειάζονται για να διατηρήσουν το ΙΔΙΟ τόσο στις ομάδες ηλιακού φωτός όσο και στη σκιά;

- (α) Ο τύπος των φυτικών κυττάρων

(β) Η ποσότητα νερού

(γ) Ο τύπος του δοχείου

(δ) Όλα τα παραπάνω

Ερώτηση 8: Ποιο από αυτά είναι το ΚΑΛΥΤΕΡΟ παράδειγμα επιστημονικής παρατήρησης για τα κύτταρα;

(α) "Τα κύτταρα είναι καταπληκτικά!"

(β) "Νομίζω ότι τα κύτταρα μοιάζουν με μικροσκοπικά δομικά στοιχεία."

(γ) "Τα κύτταρα είναι πολύ μικρά για να τα δούμε χωρίς μικροσκόπιο."

(δ) "Μακάρι να μην χρειαζόταν να μάθω για τα κύτταρα."

Μέρος 3: Φύση της Επιστήμης

Ερώτηση 1: Πώς πιστεύεις ότι τα κύτταρα του ανοσοποιητικού μας συστήματος "μαθαίνουν" να πολεμούν ιούς μετά από ένα εμβόλιο;

Ερώτηση 2: Σε έναν πλανήτη που ανακαλύψαμε, τα κύτταρα των ζώων έχουν χλωροπλάστες, όπως τα φυτά. Πώς θα άλλαζε αυτό τον τρόπο ζωής τους;

Ερώτηση 3: Ένα ζωικό κύτταρο έχει "αρρωστήσει" (ο πυρήνας του δεν λειτουργεί). Με μαγικά γάντια, μπορείτε να:

- Αντικαταστήσετε τον πυρήνα.
- Προσθέσετε βιταμίνες στα μιτοχόνδρια.

- Καθαρίσετε τις τοξίνες.

Επιλέξτε 2 ενέργειες και εξηγήστε **γιατί** θα βοηθήσουν.

Ερώτηση 4: Πως θα χρησιμοποιούσες την εκπαιδευτική προσομοίωση για να μελετήσεις τα κύτταρα ενός δέντρου και να καταλάβεις πώς αντιδρά σε κλιματική αλλαγή;

Ερώτηση 5: Φανταστείτε η εκπαιδευτική προσομοίωση μπορεί να γίνει τόσο προηγμένη που μπορούμε να «σχεδιάσουμε» τα δικά μας φυτικά και ζωικά κύτταρα με νέα χαρακτηριστικά. Ποια είναι μερικά ηθικά ερωτήματα που πρέπει να λάβουμε υπόψη πριν αρχίσουμε να αλλάζουμε τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία της ζωής;

Ερώτηση 6: Στο μέλλον, οι επιστήμονες δημιουργούν τεχνητά κύτταρα που μπορούν να θεραπεύουν ασθένειες. Πώς πιστεύεις ότι αυτά τα κύτταρα θα διαφέρουν από τα φυσικά; Τι κινδύνους ή οφέλη θα μπορούσε να έχει αυτή η τεχνολογία;

Ερώτηση 7: Αν τα κύτταρα είχαν "αυτοσυνείδηση" και μπορούσαν να διαμαρτυρηθούν για τη δουλειά τους (π.χ. "Δεν θέλω να παραγάγω ενέργεια

σήμερα!"), τι θα συνέβαινε στο σώμα μας; Φαντάσου και περιέγραψε μια μέρα στη ζωή ενός "επιθετικού" κυττάρου.

Παράρτημα 13

Εργαλείο μέτρησης επιστημονικού εγγραμματισμού για μαθητές ΣΤ'

Δημοτικού

Οδηγίες προς τους μαθητές:

Καλείστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις με βάση τις γνώσεις σας και την κριτική σας σκέψη. Διαβάστε προσεκτικά κάθε ερώτηση και επιλέξτε ή γράψτε με δικά σας λόγια την απάντηση που θεωρείτε σωστή, βασιζόμενοι στις δικές σας παρατηρήσεις και γνώσεις για τα κύτταρα.

Μέρος 1: Γνώσεις του περιεχομένου της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πριν, πώς φανταζόσασταν ένα ταξίδι μέσα σε ένα κύτταρο; Τώρα, μετά την εξερεύνηση με το βιβλίο, τι νέα πράγματα ανακαλύψατε;

Ερώτηση 2: Ποια είναι η λειτουργία του κυτταρικού τοιχώματος στα φυτικά κύτταρα και πώς διαφέρει από τη λειτουργία της κυτταρικής μεμβράνης;

Ερώτηση 3: Γιατί πιστεύεις ότι το φυτό χρειάζεται το κυτταρικό τοίχωμα;

Ερώτηση 4: Ποια διαδικασία επιτρέπει στα κύτταρα να παράγουν ενέργεια;

Ερώτηση 5: Τι συμβαίνει σε έναν οργανισμό όταν τα κύτταρά του δεν λειτουργούν σωστά;

Ερώτηση 6: Πιστεύεις ότι τα κύτταρα όλων των φυτών είναι ίδια; Εξήγησε.

Ερώτηση 7: Ποιο είναι το βασικό συστατικό της φωτοσύνθεσης;

Ερώτηση 8: Αν μπορούσες να δεις το DNA ενός κυττάρου με ένα ιδιαίτερο μικροσκόπιο, πώς θα το περιέγραφες; Τι νομίζεις ότι κάνει αυτό το μόριο μέσα στο κύτταρο;

Μέρος 2: Διαδικασίες της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πείραμα με Μικροσκόπιο: Παρατηρείς ένα ζωικό κύτταρο με μικροσκόπιο και βλέπεις μια μικρή δομή που κινείται γρήγορα. Τι πιθανότατα είναι αυτή;

- (α) Πυρήνας
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Λυσόσωμα
- (δ) Κυτταρικό τοίχωμα

Ερώτηση 2: Χρησιμοποιείς μια εκπαιδευτική δραστηριότητα για να δεις πώς διαιρείται ένα κύτταρο. Ποιο από τα παρακάτω είναι το πιο σημαντικό συμπέρασμα;

- (α) Όλα τα κύτταρα διαιρούνται με την ίδια ταχύτητα.
- (β) Ο πυρήνας ελέγχει τη διαίρεση.
- (γ) Τα κύτταρα χωρίζονται τυχαία.
- (δ) Η διαίρεση εξαρτάται από το φως.

Ερώτηση 3: Με μια εκπαιδευτική δραστηριότητα, βλέπεις ένα φυτικό και ένα ζωικό κύτταρο. Ποια δομή υπάρχει μόνο στο φυτικό;

- (α) Χλωροπλάστης
- (β) Μιτοχόνδριο
- (γ) Πυρήνας
- (δ) Κυτταροπλάσμα

Ερώτηση 4: Βρίσκεστε "παγιδευμένοι" μέσα σε ένα φυτικό κύτταρο! Για να βγείτε, πρέπει να λύσετε το γρίφο: *«Είμαι πράσινος, φτιάχνω τροφή, αλλά δεν είμαι πυρήνας. Ποιος είμαι;»*

(α) Χλωροπλάστης

(β) Μιτοχόνδριο

(γ) Λυσόσωμα

Ερώτηση 5: Τι συμβαίνει αν αφαιρεθεί ο πυρήνας από ένα κύτταρο κατά τη διαίρεση;

(α) Το κύτταρο διαιρείται γρηγορότερα

(β) Η διαίρεση σταματάει

(γ) Δημιουργούνται περισσότερα μιτοχόνδρια

(δ) Το κύτταρο αλλάζει χρώμα

Ερώτηση 6: Τι θα συνέβαινε αν τα μιτοχόνδρια σταματούσαν να λειτουργούν;

(α) Το κύτταρο θα έπαιρνε περισσότερο φως

(β) Θα έλειπε ενέργεια και το κύτταρο θα πέθαινε

(γ) Θα γινόταν πιο πράσινο

(δ) Θα μεγάλωνε σε μέγεθος

Ερώτηση 7: Ένας μαθητής κάνει ένα πείραμα για να δει αν τα φυτικά κύτταρα αναπτύσσονται πιο γρήγορα στο ηλιακό φως ή στη σκιά. Ποιο είναι το ΠΙΟ σημαντικό πράγμα που χρειάζονται για να διατηρήσουν το ΙΔΙΟ τόσο στις ομάδες ηλιακού φωτός όσο και στη σκιά;

(α) Ο τύπος των φυτικών κυττάρων

(β) Η ποσότητα νερού

(γ) Ο τύπος του δοχείου

(δ) Όλα τα παραπάνω

Ερώτηση 8: Ποιο από αυτά είναι το ΚΑΛΥΤΕΡΟ παράδειγμα επιστημονικής παρατήρησης για τα κύτταρα;

(α) "Τα κύτταρα είναι καταπληκτικά!"

(β) "Νομίζω ότι τα κύτταρα μοιάζουν με μικροσκοπικά δομικά στοιχεία."

(γ) "Τα κύτταρα είναι πολύ μικρά για να τα δούμε χωρίς μικροσκόπιο."

(δ) "Μακάρι να μην χρειαζόταν να μάθω για τα κύτταρα."

Μέρος 3: Φύση της επιστήμης

Ερώτηση 1: Πώς πιστεύεις ότι τα κύτταρα του ανοσοποιητικού μας συστήματος "μαθαίνουν" να πολεμούν ιούς μετά από ένα εμβόλιο;

Ερώτηση 2: Σε έναν πλανήτη που ανακαλύψαμε, τα κύτταρα των ζώων έχουν χλωροπλάστες, όπως τα φυτά. Πώς θα άλλαζε αυτό τον τρόπο ζωής τους;

Ερώτηση 3: Ένα ζωικό κύτταρο έχει "αρρωστήσει" (ο πυρήνας του δεν λειτουργεί). Με μαγικά γάντια, μπορείτε να:

- Αντικαταστήσετε τον πυρήνα.
- Προσθέσετε βιταμίνες στα μιτοχόνδρια.
- Καθαρίσετε τις τοξίνες.

Επιλέξτε 2 ενέργειες και εξηγήστε γιατί θα βοηθήσουν.

Ερώτηση 4: Πως θα χρησιμοποιούσες μια εκπαιδευτική δραστηριότητα για να μελετήσεις τα κύτταρα ενός δέντρου και να καταλάβεις πώς αντιδρά σε κλιματική αλλαγή;

Ερώτηση 5: Φανταστείτε ότι το βιβλίο μπορεί να γίνει τόσο προηγμένο που μπορούμε να «σχεδιάσουμε» τα δικά μας φυτικά και ζωικά κύτταρα με νέα χαρακτηριστικά. Ποια είναι μερικά ηθικά ερωτήματα που πρέπει να λάβουμε υπόψη πριν αρχίσουμε να αλλάζουμε τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία της ζωής;

Ερώτηση 6: Στο μέλλον, οι επιστήμονες δημιουργούν τεχνητά κύτταρα που μπορούν να θεραπεύουν ασθένειες. Πώς πιστεύεις ότι αυτά τα κύτταρα θα διαφέρουν από τα φυσικά; Τι κινδύνους ή οφέλη θα μπορούσε να έχει αυτή η τεχνολογία;

Ερώτηση 7: Αν τα κύτταρα είχαν "αυτοσυνείδηση" και μπορούσαν να διαμαρτυρηθούν για τη δουλειά τους (π.χ. "Δεν θέλω να παραγάγω ενέργεια σήμερα!"), τι θα συνέβαινε στο σώμα μας; Φαντάσου και περιέγραψε μια μέρα στη ζωή ενός "επιθετικού" κυττάρου.

Πίνακες

Paired Samples t-test

Πίνακας 1.1

AR

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
A_Part_Diff	,116	40	,193	,947	40	,060
B_Part_Diff	,195	40	,001	,935	40	,024
C_Part_Diff	,099	40	,200*	,962	40	,190

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	A_Part_Score_Pre	1,2063	40	,28944	,04576
	A_Part_Score_Post	2,1563	40	,37951	,06001
Pair 2	B_Part_Score_Pre	,3250	40	,23986	,03792
	B_Part_Score_Post	,0969	40	,14568	,02303
Pair 3	C_Part_Score_Pre	1,2000	40	,42894	,06782
	C_Part_Score_Post	1,8357	40	,42248	,06680

Paired Samples Test									
		Paired Differences							
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	A_Part_Score_Pre - A_Part_Score_Post	-,95000	,45362	,07172	-1,09507	-,80493	-13,245	39	,000
Pair 2	B_Part_Score_Pre - B_Part_Score_Post	,22813	,28713	,04540	,13630	,31995	5,025	39	,000
Pair 3	C_Part_Score_Pre - C_Part_Score_Post	-,63571	,60949	,09637	-,83064	-,44079	-6,597	39	,000

Πίνακας 1.2 Προσομείωση

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
A_Part_Diff	,143	38	,048	,962	38	,225
B_Part_Diff	,201	38	,000	,946	38	,063
C_Part_Diff	,173	38	,006	,937	38	,033

a. Lilliefors Significance Correction

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	A_Part_Score_Pre	1,8914	38	,47857	,07763
	A_Part_Score_Post	1,8322	38	,54624	,08861
Pair 2	B_Part_Score_Pre	,5592	38	,23019	,03734
	B_Part_Score_Post	,4737	38	,19529	,03168
Pair 3	C_Part_Score_Pre	1,4812	38	,48974	,07945
	C_Part_Score_Post	1,4098	38	,50390	,08174

Paired Samples Test

		Paired Differences							
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	A_Part_Score_Pre - A_Part_Score_Post	,05921	,62381	,10119	Lower	Upper	,585	37	,562
Pair 2	B_Part_Score_Pre - B_Part_Score_Post	,08553	,27433	,04450	Lower	Upper	1,922	37	,062
Pair 3	C_Part_Score_Pre - C_Part_Score_Post	,07143	,68933	,11182	Lower	Upper	,639	37	,527

Πίνακας 1.3 Συμβατική Διδασκαλία

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
A_Part_Diff	,154	39	,021	,960	39	,172
B_Part_Diff	,155	39	,019	,964	39	,240
C_Part_Diff	,106	39	,200 [*]	,964	39	,235

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	A_Part_Score_Pre	1,7404	39	,51490	,08245
	A_Part_Score_Post	1,9679	39	,41628	,06666
Pair 2	B_Part_Score_Pre	,4551	39	,18247	,02922
	B_Part_Score_Post	,3205	39	,25456	,04076
Pair 3	C_Part_Score_Pre	1,3114	39	,48597	,07782
	C_Part_Score_Post	1,3883	39	,61397	,09831

Paired Samples Test

		Paired Differences							
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	A_Part_Score_Pre - A_Part_Score_Post	-,22756	,62950	,10080	-,43163	-,02350	-2,258	38	,030
Pair 2	B_Part_Score_Pre - B_Part_Score_Post	,13462	,31595	,05059	,03220	,23703	2,661	38	,011
Pair 3	C_Part_Score_Pre - C_Part_Score_Post	-,07692	,73126	,11710	-,31397	,16012	-,657	38	,515

Πίνακας 2.1 ANOVA

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
A Part Differences	1	40	,9523	,45430	,07183	,8070	1,0975	-,38	1,63
	2	38	-,0597	,62647	,10163	-,2657	,1462	-1,38	1,38
	3	39	,2282	,63139	,10110	,0235	,4329	-1,63	1,50
	Total	117	,3822	,71356	,06597	,2516	,5129	-1,63	1,63
B Part Differences	1	40	-,2292	,28807	,04555	-,3214	-,1371	-1,00	,25
	2	38	-,0861	,27615	,04480	-,1768	,0047	-,63	,50
	3	39	-,1349	,31761	,05086	-,2378	-,0319	-,75	,50
	Total	117	-,1513	,29808	,02756	-,2059	-,0967	-1,00	,50
C Part Differences	1	40	,6353	,60866	,09624	,4406	,8299	-,57	1,71
	2	38	-,0713	,68986	,11191	-,2981	,1554	-1,57	1,00
	3	39	,0767	,73054	,11698	-,1601	,3135	-1,14	1,57
	Total	117	,2196	,73848	,06827	,0844	,3548	-1,57	1,71

Test of Homogeneity of Variances						
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
A Part Differences	Based on Mean	1,761	2	114	,176	
	Based on Median	1,231	2	114	,296	
	Based on Median and with adjusted df	1,231	2	100,938	,296	
	Based on trimmed mean	1,781	2	114	,173	
B Part Differences	Based on Mean	,850	2	114	,430	
	Based on Median	,776	2	114	,463	
	Based on Median and with adjusted df	,776	2	113,231	,463	
	Based on trimmed mean	,815	2	114	,445	
C Part Differences	Based on Mean	,994	2	114	,373	
	Based on Median	,810	2	114	,447	
	Based on Median and with adjusted df	,810	2	111,017	,447	
	Based on trimmed mean	,980	2	114	,378	

Πίνακας 2.2 ANOVA

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
A Part Differences	Between Groups	21,345	2	10,672	32,256	,000
	Within Groups	37,719	114	,331		
	Total	59,064	116			
B Part Differences	Between Groups	,415	2	,208	2,394	,096
	Within Groups	9,891	114	,087		
	Total	10,307	116			
C Part Differences	Between Groups	10,923	2	5,462	11,897	,000
	Within Groups	52,337	114	,459		
	Total	63,260	116			

Πίνακας 2.3 ANOVA

Multiple Comparisons

Dependent Variable		(I) Method	(J) Method	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
A Part Differences	Bonferroni	1	2	1,01199*	,13030	,000	,6954	1,3286
			3	,72404*	,12944	,000	,4095	1,0386
		2	1	-1,01199*	,13030	,000	-1,3286	-,6954
			3	-,28794	,13111	,090	-,6065	,0306
		3	1	-,72404*	,12944	,000	-1,0386	-,4095
			2	,28794	,13111	,090	-,0306	,6065
	Tamhane	1	2	1,01199*	,12445	,000	,7073	1,3167
			3	,72404*	,12402	,000	,4205	1,0275
		2	1	-1,01199*	,12445	,000	-1,3167	-,7073
			3	-,28794	,14335	,138	-,6380	,0622
		3	1	-,72404*	,12402	,000	-1,0275	-,4205
			2	,28794	,14335	,138	-,0622	,6380
B Part Differences	Bonferroni	1	2	-,14320	,06673	,102	-,3053	,0189
			3	-,09438	,06629	,472	-,2554	,0667
		2	1	,14320	,06673	,102	-,0189	,3053
			3	,04882	,06714	1,000	-,1143	,2120
		3	1	,09438	,06629	,472	-,0667	,2554
			2	-,04882	,06714	1,000	-,2120	,1143
	Tamhane	1	2	-,14320	,06389	,081	-,2992	,0128
			3	-,09438	,06827	,430	-,2611	,0723
		2	1	,14320	,06389	,081	-,0128	,2992
			3	,04882	,06777	,854	-,1167	,2144
		3	1	,09438	,06827	,430	-,0723	,2611
			2	-,04882	,06777	,854	-,2144	,1167
C Part Differences	Bonferroni	1	2	,70657*	,15349	,000	,3336	1,0795
			3	,55858*	,15248	,001	,1881	,9291
		2	1	-,70657*	,15349	,000	-1,0795	-,3336
			3	-,14798	,15444	1,000	-,5233	,2273
		3	1	-,55858*	,15248	,001	-,9291	-,1881
			2	,14798	,15444	1,000	-,2273	,5233
	Tamhane	1	2	,70657*	,14760	,000	,3459	1,0672
			3	,55858*	,15148	,001	,1885	,9287
		2	1	-,70657*	,14760	,000	-1,0672	-,3459
			3	-,14798	,16189	,742	-,5434	,2474
		3	1	-,55858*	,15148	,001	-,9287	-,1885
			2	,14798	,16189	,742	-,2474	,5434

Βιβλιογραφία

- Aaltonen, A., & Lehtikainen, J. (2006). Exploring augmented reality visualizations. <https://doi.org/10.1145/1133265.1133357>
- Abd-Mutalib, H., Mustapa, I. R., & Salleh, D. (2019). Enhancing Students' Class Participation through Gamification: Creating Motivational Affordance, Psychological and Behavioral Outcomes. *Universal Journal of Educational Research*, 7, 25. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.071604>
- Abraham, J., Wade, D. M., O'Connell, K. A., DesHarnais, S., & Jacoby, R. (2011). The Use of Simulation Training in Teaching Health Care Quality and Safety: An Annotated Bibliography. *American Journal of Medical Quality*, 26(3), 229. <https://doi.org/10.1177/1062860610384716>
- Abrar, M. F., Islam, M. R., Hossain, Md. S., Islam, M. M., & Kabir, M. A. (2019). Augmented Reality in Education: A Study on Preschool Children, Parents, and Teachers in Bangladesh. In *Lecture notes in computer science* (p. 217). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21565-1_14
- Abukarki, H. J. (2025). Beyond Preservation: A Survey of the Role of Virtual Reality in Experiencing and Understanding Historical Architectural Spaces. *Buildings*, 15(9), 1531. <https://doi.org/10.3390/buildings15091531>
- Adalar, H. (2021). Social Studies Teacher Candidates' Self-Efficacy Beliefs for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *International Journal of Education and Literacy Studies*, 9(3), 169. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v.9n.3p.169>
- Aebersold, M., Voepel-Lewis, T., Cherara, L., Weber, M., Khouri, C., Levine, R., & Tait, A. R. (2017). Interactive Anatomy-Augmented Virtual Simulation Training. *Clinical Simulation in Nursing*, 15, 34. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2017.09.008>
- Afnan, A., Muhammad, K., Khan, N., Lee, M. Y., Imran, A. S., & Sajjad, M. (2021). School of the Future: A Comprehensive Study on the Effectiveness of Augmented Reality as a Tool for Primary School Children's Education. *Applied Sciences*, 11(11), 5277. <https://doi.org/10.3390/app11115277>

Afrashtehfar, K. I., Yang, J., Al-Sammarraie, A. A., Chen, H., & Saeed, M. H. (2021). Pre-clinical undergraduate students' perspectives on the adoption of virtual and augmented reality to their dental learning experience: A one-group pre- and post-test design protocol. *F1000Research*, 10, 473.

<https://doi.org/10.12688/f1000research.53059.1>

Aggarwal, R., Mytton, O., Derbrew, M., Hananel, D., Heydenburg, M., Issenberg, S. B., Macaulay, C., Mancini, M. E., Morimoto, T., Soper, N. J., Ziv, A., & Reznick, R. (2010). Training and simulation for patient safety. *BMJ Quality & Safety*, 19.

<https://doi.org/10.1136/qshc.2009.038562>

Agustian, H. Y. (2023). The Critical Role of Understanding Epistemic Practices in Science Teaching Using Wicked Problems. *Science & Education*, 34(1), 485.

<https://doi.org/10.1007/s11191-023-00471-2>

Agustian, H. Y. (2024). On problematizing the epistemic and axiological nexus of post-normal science education. *Research Portal Denmark*.

<https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=ku&id=ku-f4c9f3ea-c31a-4399-b20a-dadaa23893d2&ti=On%20problematizing%20the%20epistemic%20and%20axiologic al%20nexus%20of%20post-normal%20science%20education>

Alarcón, D. A. U., Talavera–Mendoza, F., Paucar, F. H. R., Caceres, K. S. C., & Viza, R. M. (2023). Science and inquiry-based teaching and learning: a systematic review [Review of Science and inquiry-based teaching and learning: a systematic review]. *Frontiers in Education*, 8. Frontiers Media.

<https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1170487>

Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532.

<https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>

Al-Zahrani, A. M. (2024). Unveiling the shadows: Beyond the hype of AI in education. *Heliyon*, 10(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30696>

Alazmi, H. S., & Alemtairy, G. M. (2024). The effects of immersive virtual reality field trips upon student academic achievement, cognitive load, and multimodal presence in a social studies educational context. *Education and Information Technologies*, 29(16), 22189. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12682-3>

Al-Elq, A. H. (2010). Simulation-based medical teaching and learning. *Journal of Family and Community Medicine*, 17(1), 35. <https://doi.org/10.4103/1319-1683.68787>

AlGerafi, M. A. M., Zhou, Y., Oubibi, M., & Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education. *Electronics*, 12(18), 3953. <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>

Alinier, G., & Hssain, I. (2019). Creating Effective Learning Environments: The Educator's Perspective. In Elsevier eBooks (p. 217). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815657-5.00016-4>

Alieto, E. O., Abequibel, B., Estigoy, E., Balasa, K., Eijansantos, A. M., & Torres-Toukoumidis, Á. (2024). Teaching inside a digital classroom: A quantitative analysis of attitude, technological competence and access among teachers across subject disciplines. *Heliyon*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24282>

Alkhabra, Y. A., Ibrahim, U. M., & Alkhabra, S. A. (2023). Augmented reality technology in enhancing learning retention and critical thinking according to STEAM program. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01650-w>

Alimuddin, A., Suradi, S., & Rahmayanti, M. (2021). Application of Direct Instructional Learning in High School Education. *Community Medicine and Education Journal*, 2(2), 151. <https://doi.org/10.37275/cmej.v2i2.114>

Almasri, F. (2022). Simulations to Teach Science Subjects: Connections Among Students' Engagement, Self-Confidence, Satisfaction, and Learning Styles. *Education and Information Technologies*, 27(5), 7161. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10940-w>

Altmeyer, K., Kapp, S., Thees, M., Malone, S., Kühn, J., & Brünken, R. (2020). The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses—Theoretical background and empirical results. *British Journal of Educational Technology*, 51(3), 611. <https://doi.org/10.1111/bjet.12900>

Alzahrani, N. M. (2020). Augmented Reality: A Systematic Review of Its Benefits and Challenges in E-learning Contexts [Review of Augmented Reality: A Systematic Review of Its Benefits and Challenges in E-learning Contexts]. *Applied Sciences*, 10(16), 5660. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/app10165660>

Amir, P. N. F., & Haling, A. (2019). The Effect of Scientific Approach at Natural Science Learning on Elementary Students' Learning Outcome. Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Multidisciplinary Research (ICAMR 2018). <https://doi.org/10.2991/icamr-18.2019.4>

Analyti, E., Charitou, R., Pesmatzoglou, E., Stavrogiannopoulou, M., Schoina, I., Travlou, C., & Mitroyanni, E. (2024). Virtual Reality in Education: Transforming Learning through Immersive Technology. *Technium Education and Humanities*, 10, 1. <https://doi.org/10.47577/teh.v10i.11766>

Andrade, C. (2024). Understanding Factorial Designs, Main Effects, and Interaction Effects: Simply Explained with a Worked Example. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 46(2), 175. <https://doi.org/10.1177/02537176241237066>

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.

Anggraini, S. D., Indrawati, I., & Wahyuni, D. (2020). Science textbook based on Socio-Scientific Issues (SSI) for environmental pollution to increase student science literacy in junior high school. *Journal of Physics Conference Series*, 1563(1), 12053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1563/1/012053>

Ango, M. L. (2002). Mastery of Science Process Skills and Their Effective Use in the Teaching of Science: An Educology of Science Education in the Nigerian Context. 16(1), 11. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED494901.pdf>

- Anjass, E., Hamed, C., & Ramírez, E. M. A. (2025). The effectiveness of using the flipped classroom in science education for ninth-grade students. *Journal of Technology and Science Education*, 15(1), 78. <https://doi.org/10.3926/jotse.2842>
- Antón-Sancho, Á., Vergara, D., & Fernández-Arias, P. (2024). Quantitative analysis of the use of virtual reality environments among higher education professors. *Smart Learning Environments*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00299-5>
- Anwar, M. S., Yang, J. C., Frnda, J., Choi, A., Baghaei, N., & Ali, M. (2025). Metaverse and XR for cultural heritage education: applications, standards, architecture, and technological insights for enhanced immersive experience. *Virtual Reality*, 29(2). <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01126-z>
- Arora, R., & Chauhan, A. (2021). Faculty perspectives on work from home: Teaching efficacy, constraints and challenges during COVID' 19 lockdown. *Journal of Statistics and Management Systems*, 24(1), 37. <https://doi.org/10.1080/09720510.2021.1875567>
- Arredondo, L. A. L. (2020). Mobile augmented reality: A pedagogical strategy in the university setting. *Metaverse*, 1(2), 9. <https://doi.org/10.54517/met.v1i2.1774>
- Arora, R., & Chauhan, A. (2021). Faculty perspectives on work from home: Teaching efficacy, constraints and challenges during COVID' 19 lockdown. *Journal of Statistics and Management Systems*, 24(1), 37. <https://doi.org/10.1080/09720510.2021.1875567>
- Artayasa, I. P., Muhlis, M., Merta, I. W., & Hadiprayitno, G. (2021). The Effects of Guided Inquiry Learning with the Assistance of Concept Maps on Students' Scientific Literacy. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(2), 262. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i2.692>
- Asad, M. M., Naz, A., Churi, P., & Tahanzadeh, M. M. (2021). Virtual Reality as Pedagogical Tool to Enhance Experiential Learning: A Systematic Literature Review. *Education Research International*, 2021, 1. <https://doi.org/10.1155/2021/7061623>
- Astra, I. M., Aminudin, D., & Henukh, A. (2021). Enhancing Students' Learning Activities Using Problem-Based Learning Model on Temperature and Heat Concept.

Journal of Physics Conference Series, 2019(1), 12025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2019/1/012025>

Atta, H. B., Vlorensius, V., Aras, I., & Ikhsanudin, I. (2020). Developing an instrument for students scientific literacy. *Journal of Physics Conference Series*, 1422(1), 12019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1422/1/012019>

Aubusson, P., Griffin, J., & Steele, F. (2010). A design-based self-study of the development of student reflection in teacher education. *Studying Teacher Education*, 6(2), 201–216. <https://doi.org/10.1080/17425964.2010.495905>

Austin, Z., & Sutton, J. (2014). Qualitative Research: Getting Started. *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*, 67(6). <https://doi.org/10.4212/cjhp.v67i6.1406>

Ayre, J., & McCaffery, K. (2021). Research Note: Thematic analysis in qualitative research. *Journal of Physiotherapy*, 68(1), 76. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2021.11.002>

Azzam, A., & Charles, T. (2024). A Review of Artificial Intelligence in K-12 Education [Review of A Review of Artificial Intelligence in K-12 Education]. *Open Journal of Applied Sciences*, 14(8), 2088. Scientific Research Publishing. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2024.148137>

Bacca-Acosta, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk, K. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. [Review of Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications.]. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133. IEEE Computer Society. http://www.ifets.info/journals/17_4/9.pdf

Babchuk, W. A. (2019). Fundamentals of qualitative analysis in family medicine. *Family Medicine and Community Health*, 7(2). <https://doi.org/10.1136/fmch-2018-000040>

Barrett, T. J. (2011). Computations using analysis of covariance [Review of *Computations using analysis of covariance*]. *Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics*, 3(3), 260. Wiley. <https://doi.org/10.1002/wics.165>

Barnard, J. (1953). A. Teaching Scientific Attitudes and Methods in Science. *The Bulletin of the National Association of Secondary School Principals*, 37(191), 178. <https://doi.org/10.1177/019263655303719129>

- Barnes, E., & Hutson, J. (2024). Navigating the ethical terrain of AI in higher education: Strategies for mitigating bias and promoting fairness. *Forum for Education Studies*, 2(2), 1229. <https://doi.org/10.59400/fes.v2i2.1229>
- Bebell, D., O'Dwyer, L. M., Russell, M., & Hoffmann, T. (2010). Concerns, Considerations, and New Ideas for Data Collection and Research in Educational Technology Studies. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(1), 29. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782560>
- Behrens, J. T., DiCerbo, K. E., & Foltz, P. W. (2019). Assessment of Complex Performances in Digital Environments. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 683(1), 217. <https://doi.org/10.1177/0002716219846850>
- Bernardo, A. B. I., Cordel, M. O., Calleja, M. O., Teves, J. M. M., Yap, S. A., & Chua, U. (2023). Profiling low-proficiency science students in the Philippines using machine learning. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01705-y>
- Beigzadeh, M. N., Givi, H. G., Sharif, A. R., Sheykholeslami, A., Reisy, L., & Hassankhani, H. (2021). Iranian superwomen's career experiences: a qualitative study. *BMC Women s Health*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12905-021-01369-3>
- Bingham, A. J. (2023). From Data Management to Actionable Findings: A Five-Phase Process of Qualitative Data Analysis. *International Journal of Qualitative Methods*, 22. <https://doi.org/10.1177/16094069231183620>
- Bewick, V., Cheek, L., & Ball, J. (2004). Statistics review 9: one-way analysis of variance. [Review of *Statistics review 9: one-way analysis of variance*.]. *Critical Care*, 8(2), 130. BioMed Central. <https://doi.org/10.1186/cc2836>
- Boğar, Y. (2019). Evaluation of the Scientific Reasoning Skills of 7th Grade Students in Science Course. *Universal Journal of Educational Research*, 7(6), 1430. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070610>
- Borisova, T., Stoykova, V., Kazlacheva, Z., & Videnov, K. (2021). Developing an augmented reality textbook for Bachelor and Master programmes “Design, technology and management of the fashion industry.” IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 1031(1), 12123. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1031/1/012123>

- Bossér, U. (2023). Transformation of School Science Practices to Promote Functional Scientific Literacy. *Research in Science Education*, 54(2), 265. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10138-1>
- Bradshaw, W. S., Nelson, J., Adams, B. J., & Bell, J. D. (2017). Promoting the Multidimensional Character of Scientific Reasoning. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 18(1). <https://doi.org/10.1128/jmbe.v18i1.1272>
- Bradley, E. H., Curry, L., & Devers, K. J. (2007). Qualitative Data Analysis for Health Services Research: Developing Taxonomy, Themes, and Theory. *Health Services Research*, 42(4), 1758. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6773.2006.00684.x>
- Brewer, C. A. (2004). Near Real-Time Assessment of Student Learning and Understanding in Biology Courses. *BioSCIENCE*, 54(11), 1034. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1034:nraosl\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1034:nraosl]2.0.co;2)
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Braun, V., & Clarke, V. (2022). Thematic Analysis: A Practical Guide. *QMIP Bulletin*, 1(33), 46. <https://doi.org/10.53841/bpsqmip.2022.1.33.46>
- Brigas, C. (2019). Modeling and Simulation in an Educational Context: Teaching and Learning Sciences. *Research in Social Sciences and Technology*, 4(2), 1. <https://doi.org/10.46303/ressat.04.02.1>
- Bressler, D. M., & Bodzin, A. M. (2013). A Mixed Methods Assessment of Students' Flow Experiences during a Mobile Augmented Reality Science Game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29, 505-517. <https://doi.org/10.1111/jcal.12008>
- Burden, A. R. (2020). High-Fidelity Simulation Education and Crisis Resource Management [Review of High-Fidelity Simulation Education and Crisis Resource Management]. *Anesthesiology Clinics*, 38(4), 745. *Elsevier BV*. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2020.08.006>
- Burnard, P., Gill, P., Stewart, K., Treasure, E., & Chadwick, B. (2008). Analysing and presenting qualitative data. *BDJ*, 204(8), 429. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2008.292>

Bybee, R. W. (1997). *Achieving Scientific Literacy: From Purposes to Practices*. Heinemann.

Cabero-Alemanra, J., & Díaz, V. M. (2017). Blended learning y realidad aumentada: experiencias de diseño docente. *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 21(1), 57. <https://doi.org/10.5944/ried.21.1.18719>

Cajas, F. (2001). The science/technology interaction: Implications for science literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 715. <https://doi.org/10.1002/tea.1028>

Cabrera-Duffaut, A., Llorente, A. M. P., & Rodríguez, A. I. (2024). Immersive learning platforms: analyzing virtual reality contribution to competence development in higher education—a systematic literature review. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1391560>

Cansız, M. (2024). EXPLORING THE IMPACT OF HISTORY OF SCIENCE TEACHING ON SCIENCE PROCESS SKILLS, KNOWLEDGE OF SCIENCE CONCEPTS, AND ATTITUDES TOWARD SCIENCE. *Journal of Baltic Science Education*, 23(3), 449. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.449>

Cao, J., Bhuvaneswari, G., Arumugam, T., & Aravind, B. R. (2023). The digital edge: examining the relationship between digital competency and language learning outcomes. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1187909>

Castro, M. P., & Garduño, H. S. (2024). Beyond Traditional Classrooms: Comparing Virtual Reality Applications and Their Influence on Students' Motivation. *Education Sciences*, 14(9), 963. <https://doi.org/10.3390/educsci14090963>

Cato, M. (2000). Nursing Student Anxiety in Simulation Settings: A Mixed Methods Study. <https://doi.org/10.15760/etd.1035>

Chang, H., Binali, T., Liang, J., Chiou, G., Cheng, K., Lee, S. W., & Tsai, C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. *Computers & Education*, 191, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>

- Chang, T.-C., Lyu, Y. F., Wu, H.-C., & Min, K.-W. (2023). Introduction of Taiwanese literacy-oriented science curriculum and development of an aligned scientific literacy assessment. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 20(1). <https://doi.org/10.29333/ejmste/13930>
- Chatimah, H. (2019). *An Investigation of Reasoning Skills through Problem Based Learning*. <https://doi.org/10.1145/3345120.3345180>
- Chatzi, A. V., & Doody, O. (2023). The one-way ANOVA test explained. *Nurse Researcher*, 31(3), 8. <https://doi.org/10.7748/nr.2023.e1885>
- Chavez, L. S. (2020). Simulation as a Learning and Evaluation Modality: A Concept Analysis. *Journal of Nursing*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.7243/2056-9157-7-1>
- Chen, T., Xu, M., Tu, J., Wang, H., & Niu, X. (2018). Relationship between Omnibus and Post-hoc Tests: An Investigation of performance of the F test in ANOVA. *PubMed*, 30(1), 60. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.218014>
- Chen, S.-Y., Lin, P., Lai, Y.-H., & Liu, C. (2024). Enhancing Education on Aurora Astronomy and Climate Science Awareness through Augmented Reality Technology and Mobile Learning. *Sustainability*, 16(13), 5465. <https://doi.org/10.3390/su16135465>
- Cheng, K., & Tsai, C. (2012). Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9>
- Chetry, K. K. (2024). Transforming Education: How AI is Revolutionizing the Learning Experience. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(5), 6352. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0524.1277>
- Chiang, T. H. C. (2021). Investigating Effects of Interactive Virtual Reality Games and Gender on Immersion, Empathy and Behavior Into Environmental Education. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.608407>
- Chitra, E., Mubin, S. A., Nadarajah, V. D., Wong, P. S., Sow, C. F., Er, H. M., Mitra, N. K., Thiruchelvam, V., & Davamani, F. (2024). A 3-D interactive microbiology

laboratory via virtual reality for enhancing practical skills. *Scientific Reports*, 14(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-63601-y>

Choukikar, H., & Parte, Prof. S. (2023). “Transformative Realities: The Social Impact of Virtual Reality.” *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(12), 650. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57214>

Christopoulos, A., Mystakidis, S., Πέλλας, N., & Laakso, M. (2021). ARLEAN: An Augmented Reality Learning Analytics Ethical Framework. *Computers*, 10(8), 92.
<https://doi.org/10.3390/computers10080092>

Collis, B., & Carleer, G. J. (1993). The effects of technology-enriched school intervention: A multiple case-study analysis. *Computers & Education*, 21, 151.
[https://doi.org/10.1016/0360-1315\(93\)90058-q](https://doi.org/10.1016/0360-1315(93)90058-q)

Cordon, J. M., & Polong, J. D. B. (2020). Behind the Science literacy of Filipino students at PISA 2018: A Case study in the Philippines’ Educational System. *Integrated Science Education Journal*, 1(2), 72. <https://doi.org/10.37251/isej.v1i2.59>

Crogman, H. T., Cano, V. D., Pacheco, E., Sonawane, R., & Boroon, R. (2025). Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Experiential Learning: Transforming Educational Paradigms. *Education Sciences*, 15(3), 303.
<https://doi.org/10.3390/educsci15030303>

Dalim, C. S. C., Kolivand, H., Kadhim, H., Sunar, M. S., & Billinghamurst, M. (2017). Factors Influencing the Acceptance of Augmented Reality in Education: A Review of the Literature [Review of Factors Influencing the Acceptance of Augmented Reality in Education: A Review of the Literature]. *Journal of Computer Science*, 13(11), 581. Science Publications. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2017.581.589>

Danladi, M. D. (2020). Effect of Discussion Method on Achievement and Anxiety Level of Secondary Biology Students in Gashua Educational Zone, Yobe State, Nigeria. *The International Journal of Humanities & Social Studies*, 8(2).
<https://doi.org/10.24940/theijhss/2020/v8/i2/hs2002-002>

Dante, A., Cerra, C. L., Caponnetto, V., Masotta, V., Marcotullio, A., Bertocchi, L., Ferraiuolo, F., Petrucci, C., & Lancia, L. (2022). Dose–Response Relationship between High-Fidelity Simulation and Intensive Care Nursing Students’ Learning Outcomes: An Italian Multimethod Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 617. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020617>

Darling-Hammond, L. (2010). *Performance Counts: Assessment Systems That Support High-Quality Learning*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED543057.pdf>

Darmaji, D., Astalini, A., Kurniawan, D. A., Ningsi, A. P., Romadona, D. D., & Dari, R. W. (2020). Regression of Science Process Skills On Critical Thinking Skills In Two Junior High Schools In Jambi City. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*, 5(3), 177. <https://doi.org/10.26737/jipf.v5i3.1788>

Datta, R., Upadhyay, K., & Jaideep, C. N. (2012). Simulation and its role in medical education. *Medical Journal Armed Forces India*, 68(2), 167. [https://doi.org/10.1016/s0377-1237\(12\)60040-9](https://doi.org/10.1016/s0377-1237(12)60040-9)

Delello, J. A., Sung, W., Mokhtari, K., Hebert, J., Bronson, A., & Giuseppe, T. D. (2025). AI in the Classroom: Insights from Educators on Usage, Challenges, and Mental Health. *Education Sciences*, 15(2), 113. <https://doi.org/10.3390/educsci15020113>

Dengel, A., Iqbal, M. Z., Grafe, S., & Mangina, E. (2022). A Review on Augmented Reality Authoring Toolkits for Education [Review of A Review on Augmented Reality Authoring Toolkits for Education]. *Frontiers in Virtual Reality*, 3. Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.798032>

Demircioğlu, T., Karakuş, M., & Uçar, S. (2022). Developing Students’ Critical Thinking Skills and Argumentation Abilities Through Augmented Reality–Based Argumentation Activities in Science Classes. *Science & Education*, 32(4), 1165. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00369-5>

Dewanti, B. A., Santoso, A., & Septaria, K. (2021). Assessment of Critical Thinking Skills in STEM-Based Science Learning Through Project Assignments. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research/Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210326.119>

Ding, X., & Li, Z. (2022). A review of the application of virtual reality technology in higher education based on Web of Science literature data as an example [Review of A review of the application of virtual reality technology in higher education based on Web of Science literature data as an example]. *Frontiers in Education*, 7. Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1048816>

Divayana, D. G. H., Ariawan, I. P. W., & Adiarta, A. (2020). Content validity of quality test instrument used for the user interface design of THK-ANEKA-based countenance evaluation application. *Journal of Physics Conference Series*, 1516(1), 12048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1516/1/012048>

Donner, L., & Imhoff, M. (2022). Development of Online Clinical Microbiology Laboratory Unknowns: Active Learning for Online, Hybrid, and In-Person Courses. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 23(3). <https://doi.org/10.1128/jmbe.00071-22>

Drummond, G. B., & Vowler, S. L. (2012). Analysis of variance: variably complex. *The Journal of Physiology*, 590(6), 1303. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.229856>

D'Souza, R., Mathew, M., Mishra, V., & Surapaneni, K. M. (2024). Twelve tips for addressing ethical concerns in the implementation of artificial intelligence in medical education. *Medical Education Online*, 29(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2024.2330250>

Duan, G., Jia, L., & Chen, H. (2022). The Role of English as a Foreign Language Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge on English as a Foreign Language Students' Achievement [Review of The Role of English as a Foreign Language Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge on English as a Foreign Language Students' Achievement]. *Frontiers in Psychology*, 13. *Frontiers Media*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.946081>

Dunivan, D. W., Mann, P., Collins, D., & Wittmer, D. (2024). Expanding the empirical study of virtual reality beyond empathy to compassion, moral reasoning, and moral foundations. *Frontiers in Psychology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1402754>

Dünser, A., Grasset, R., Seichter, H., & Billinghamurst, M. (2007). Applying HCI principles to AR systems design. https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/2340/1/12604890_2007-MRUI-Applying_HCI_principles.pdf

Durkaya, F. (2022). Virtual laboratory use in science education with digitalization. *The Hungarian Educational Research Journal*, 13(2), 189. <https://doi.org/10.1556/063.2022.00141>

Egunjobi, D., & Adeyeye, O. (2024). Revolutionizing Learning: The Impact of Augmented Reality (AR) And Artificial Intelligence (AI) on Education. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(10), 1157. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1024.2734>

Elangovan, N., & Sundaravel, E. (2021). Method of preparing a document for survey instrument validation by experts. *MethodsX*, 8, 101326. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101326>

Elhai, J. (2023). Science Literacy: a More Fundamental Meaning. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 24(1). <https://doi.org/10.1128/jmbe.00212-22>

El-Kishawi, M., Khalaf, K., Al-Najjar, D., Seraj, Z., & Kawas, S. A. (2020). Rethinking Assessment Concepts in Dental Education [Review of *Rethinking Assessment Concepts in Dental Education*]. *International Journal of Dentistry*, 2020, 1. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2020/8672303>

Ely, D. P. (1992). Trends in Educational Technology. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED346850.pdf>

Ernawita, & Rakimahwati. (2020). Implementation of Creativity Learning in Arts Center Through Integrated Thematic Approaches to Stimulate the Discipline Character in TK Kreatif Makkah. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200217.006>

Engwall, L. (1983). Research Note: Linguistic Analysis of an Open-ended Questionnaire in an Organizational Study. *Organization Studies*, 4(3), 261. <https://doi.org/10.1177/017084068300400304>

Erwinsah, R., Aria, M., & Yusup, Y. (2019). Application of augmented reality technology in biological learning. *Journal of Physics Conference Series*, 1402(6), 66090. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/6/066090>

Estuhono, E. (2022). Research-Based Learning Models in Physics for 21st Century Students. *AL-ISHLAH Jurnal Pendidikan*, 14(2), 1803. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v14i2.1268>

Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>

Ezeddine, G., Souissi, N., Masmoudi, L., Trabelsi, K., Puce, L., Clark, C. C. T., Bragazzi, N. L., & Mrayah, M. (2023). The problem-solving method: Efficacy for learning and motivation in the field of physical education. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1041252>

Fàbregues, S., Sáinz, M., Romano, M. J., Escalante-Barrios, E. L., Younas, A., & López-Pérez, B.-S. (2023). Use of mixed methods research in intervention studies to increase young people's interest in STEM: A systematic methodological review [Review of Use of mixed methods research in intervention studies to increase young people's interest in STEM: A systematic methodological review]. *Frontiers in Psychology*, 13. Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.956300>

Fadhilla, A. R., Muhibbuddin, M., & Syukri, M. (2021). Application of the Guided Inquiry Model to Improve Science Process Skills High School Students. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(4), 612. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i4.779>

Faqih, K. M. S., & Jaradat, M.-I. R. M. (2021). Integrating TTF and UTAUT2 theories to investigate the adoption of augmented reality technology in education: Perspective from a developing country. *Technology in Society*, 67, 101787. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101787>

Fausan, M. M., Susilo, H., Gofur, A., Sueb, S., & Yusop, F. D. (2021). THE SCIENTIFIC LITERACY PERFORMANCE OF GIFTED YOUNG SCIENTIST

CANDIDATES IN THE DIGITAL AGE. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 40(2), 467. <https://doi.org/10.21831/cp.v40i2.39434>

Fauziyah, A., Prasetyaningsih, P., & Biru, L. T. (2021). ANALYSIS OF SCIENTIFIC LITERACY SKILLS IN SOLVING QUESTION SCIENCE ON FOOD SECURITY THEMES IN SERANG CITY. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 6(2), 56. <https://doi.org/10.26740/jppipa.v6n2.p56-63>

Flores-Bascuñana, M., Diago, P. D., Villena-Taranilla, R., & Yáñez, D. F. (2019). On Augmented Reality for the Learning of 3D-Geometric Contents: A Preliminary Exploratory Study with 6-Grade Primary Students. *Education Sciences*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/educsci10010004>

FitzGerald, E., Adams, A., Ferguson, R., Gaved, M., Mor, Y., & Thomas, R. (2012). Augmented Reality and Mobile Learning: the State of the Art. 62. <https://dblp.uni-trier.de/db/conf/mlearn/mlearn2012.html#FitzGeraldAFGMT12>

Fraile, M. N., Bienzobas, L. V., Ripa, I. Z., & Doray, I. U. (2023). The Effect of Adult Intervention in the Development of Science Process Skills. In *Contributions from biology education research* (p. 51). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44792-1_4

Gandolfi, H. E. (2024). (Re)considering Nature of Science Education in the Face of Socio-scientific Challenges and Injustices. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00536-w>

García-Carmona, A. (2023). Scientific Thinking and Critical Thinking in Science Education. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00460-5>

García-Ojeda, M. E., & Nishiguchi, M. K. (2022). The Metamorphosing Professor: Adapting Teaching to Fulfill the Promise of Biology Education. *Integrative and Comparative Biology*, 62(6), 1519. <https://doi.org/10.1093/icb/icac149>

Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2017). Augmented Reality Applications for Education: Five Directions for Future Research. In *Lecture notes in computer science* (p. 402). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60922-5_31

- Garzón, J. (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7), 37. <https://doi.org/10.3390/mti5070037>
- Gentile, M., Città, G., Perna, S., & Allegra, M. (2023). Do we still need teachers? Navigating the paradigm shift of the teacher's role in the AI era. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1161777>
- Godoy, C. H. (2021). Augmented Reality for Education: A Review. arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2109.02386>
- Goeman, J. J., & Solari, A. (2021). Comparing Three Groups. *The American Statistician*, 76(2), 168. <https://doi.org/10.1080/00031305.2021.2002188>
- Goldhammer, F., Scherer, R., & Greiff, S. (2020). Editorial: Advancements in Technology-Based Assessment: Emerging Item Formats, Test Designs, and Data Sources. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 10). Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03047>
- Gormally, C., Brickman, P., & Lutz, M. E. (2012). Developing a Test of Scientific Literacy Skills (TOSLS): Measuring Undergraduates' Evaluation of Scientific Information and Arguments. *CBE—Life Sciences Education*, 11(4), 364. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-03-0026>
- Gopalan, V., Bakar, J. A. A., & Zulkifli, A. N. (2017). A brief review of augmented reality science learning [Review of A brief review of augmented reality science learning]. AIP Conference Proceedings, 1891, 20044. *American Institute of Physics*. <https://doi.org/10.1063/1.5005377>
- Guest, G., MacQueen, K. M., & Namey, E. (2012). Introduction to Applied Thematic Analysis. In SAGE Publications, Inc. eBooks (p. 3). SAGE Publishing. <https://doi.org/10.4135/9781483384436.n1>
- Guetterman, T. C. (2019). Basics of statistics for primary care research. *Family Medicine and Community Health*, 7(2). <https://doi.org/10.1136/fmch-2018-000067>

Gunshin, M., Doi, K., & Morimura, N. (2020). Use of high-fidelity simulation technology in disasters: an integrative literature review [Review of Use of high-fidelity simulation technology in disasters: an integrative literature review]. *Acute Medicine & Surgery*, 7(1). Wiley. <https://doi.org/10.1002/ams2.596>

Hamad, A., & Jia, B. (2022). How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations [Review of How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11278. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811278>

Harry, A., & Sayudin, S. (2023). Role of AI in Education. *Interdisciplinary Journal and Hummanity (INJURITY)*, 2(3), 260. <https://doi.org/10.58631/injury.v2i3.52>

Hassan, N. M. H. N. (2024). The Role of Technology in Modern Education: A Comparative Analysis of Benefits and Challenges. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 13(11), 460. <https://doi.org/10.21275/sr241029140949>

Hallman, W. K. (2017). What the Public Thinks and Knows About Science—and Why It Matters. In *Oxford University Press eBooks*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190497620.013.6>

Halim, N. D. A., Hong, O. A., Zulkifli, N. N., Jumaat, N. F., Zaid, N. M., & Mokhtar, M. (2022). Designing Game-Based Learning Kit with Integration of Augmented Reality for Learning Geography. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 16(2), 4. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i02.27377>

Hambleton, R. K. (2000). Advances in Performance Assessment Methodology. *Applied Psychological Measurement*, 24(4), 291. <https://doi.org/10.1177/01466210022031750>

Hasbi, A. B., & Yunus, M. M. (2021). A Systematic Review of Augmented Reality in English Language Learning [Review of A Systematic Review of Augmented Reality in English Language Learning]. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 10(2). <https://doi.org/10.6007/ijarped/v10-i2/9218>

Hein, R., Latoschik, M. E., & Wienrich, C. (2022). Inter- and Transcultural Learning in Social Virtual Reality: A Proposal for an Inter- and Transcultural Virtual Object Database to be Used in the Implementation, Reflection, and Evaluation of Virtual Encounters. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(7), 50. <https://doi.org/10.3390/mti6070050>

Herberich, E., Sikorski, J., & Hothorn, T. (2010). A Robust Procedure for Comparing Multiple Means under Heteroscedasticity in Unbalanced Designs. *PLoS ONE*, 5(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009788>

hle, L. S., & Wold, S. (1989). Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 6(4), 259. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(89\)80095-4](https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80095-4)

Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S., & Reiss, K. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers & Education*, 153, 103897. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897>

Hodges, G. W., Oliver, J. S., Jang, Y., Cohen, A. S., Ducrest, D., & Robertson, T. P. (2021). Pedagogy, Partnership, and Collaboration: A Longitudinal, Empirical Study of Serious Educational Gameplay in Secondary Biology Classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 30(3), 331. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09868-y>

Hoffman, J. I. E. (2019). Comparison of Two Groups: t-Tests and Nonparametric Tests. In *Elsevier eBooks* (p. 341). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817084-7.00022-x>

Högström, P., Gericke, N., Wallin, J., & Bergman, E. (2024). Teaching Socioscientific Issues: A Systematic Review [Review of *Teaching Socioscientific Issues: A Systematic Review*]. *Science & Education*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00542-y>

Hoiby, R., & Christensen, G. J. (2023). Exploring Partnership with Teacher Education as Professional Development for Science Teachers. *Research Portal Denmark*. <https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=kp&id=kp-fbbf3089-ee69-423a-81cd->

[964eb736252e&ti=Exploring%20Partnership%20with%20Teacher%20Education%20as%20Professional%20Development%20for%20Science%20Teachers](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022071)

Holmen, M. R., Langkjær, J., & Johannsen, B. F. (2023). Place'ing Doubt Within Preservice Teacher Education. *Research Portal Denmark*.
<https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=kp&id=kp-84cd821f-f7e1-40a5-a14e-8bdf9a8c146&ti=Place'ing%20Doubt%20Within%20Preservice%20Teacher%20Education>

Howes, E. V., Lim, M., & Campos, J. (2008). Journeys into inquiry-based elementary science: Literacy practices, questioning, and empirical study. *Science Education*, 93(2), 189. <https://doi.org/10.1002/sce.20297>

Hua, C., & Wang, J. (2023). Virtual reality-assisted language learning: A follow-up review (2018–2022) [Review of Virtual reality-assisted language learning: A follow-up review (2018–2022)]. *Frontiers in Psychology*, 14. Frontiers Media. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1153642>

Huda, S. A., Hartono, H., & Masturi, M. (2020). The development of authentic scientific inquiry assessment to measure the laboratory skills. *Journal of Physics Conference Series*, 1567(2), 22071. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022071>

Huang, K.-T., Ball, C., Francis, J. E., Ratan, R., Boumis, J. K., & Fordham, J. (2019). Augmented Versus Virtual Reality in Education: An Exploratory Study Examining Science Knowledge Retention When Using Augmented Reality/Virtual Reality Mobile Applications. *Cyberpsychology Behavior and Social Networking*, 22(2), 105. <https://doi.org/10.1089/cyber.2018.0150>

Huang, C.-Y., Cheng, B.-Y., Lou, S., & Chung, C.-C. (2023). Design and Effectiveness Evaluation of a Smart Greenhouse Virtual Reality Curriculum Based on STEAM Education. *Sustainability*, 15(10), 7928. <https://doi.org/10.3390/su15107928>

Hung, Y.-H., Chen, C., & Huang, S. -W. (2016). Applying augmented reality to enhance learning: a study of different teaching materials. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(3), 252. <https://doi.org/10.1111/jcal.12173>

Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review [Review of Augmented reality for STEM learning: A systematic review]. *Computers & Education*, 123, 109. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>

ΙΕΠ (2011). *Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών για το Δημοτικό Σχολείο*. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Inayah, A. D., Ristanto, Rizhal H., Sigit, D. V., & Miarsyah, M. (2020). Analysis of Science Process Skills in Senior High School Students. *Universal Journal of Educational Research*, 8, 15. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081803>

İNCE-MUSLU, B., & Erduran, A. (2020). A Suggestion of a Framework: Conceptualization of the Factors That Affect Technology Integration in Mathematics Education. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 16(1). <https://doi.org/10.29333/iejme/9292>

Issenberg, S. B., & Scalese, R. J. (2008). Simulation in Health Care Education. *Perspectives in Biology and Medicine*, 51(1), 31. <https://doi.org/10.1353/pbm.2008.0004>

Jackson, R. L., Drummond, D. K., & Camara, S. K. (2007). What Is Qualitative Research? Qualitative Research Reports in Communication, 8(1), 21. <https://doi.org/10.1080/17459430701617879>

Jdaitawi, M., Alturki, S., Ramzy, S., Saleh, W. S. M., Mabrouk, S. H., Abdulgawad, R., & Hasan, H. (2022). The effect of modern technology app on the self-regulation skills of students with disabilities. *Journal of Education and Health Promotion*, 11(1), 288. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1798_21

Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based chemistry education: a systematic review [Review of Inquiry-based chemistry education: a systematic review]. *Studies in Science Education*, 60(2), 251. *Taylor & Francis*. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2248436>

Jensen, J. L., Kummer, T. A., & Godoy, P. D. d. M. (2015). Improvements from a Flipped Classroom May Simply Be the Fruits of Active Learning. *CBE—Life Sciences Education*, 14(1). <https://doi.org/10.1187/cbe.14-08-0129>

Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active Learning Augmented Reality for STEAM Education—A Case Study. *Education Sciences*, 10(8), 198. <https://doi.org/10.3390/educsci10080198>

Journal of Education and Learning (EduLearn). (2021). *Journal of Education and Learning (EduLearn)*. <https://doi.org/10.11591/edulearn>

Journal of Turkish Science Education. (2020). *Journal of Turkish Science Education*. <https://doi.org/10.12973/tused>

Ju, N., & Lee, K. (2020). Consumer resistance to innovation: smart clothing. *Fashion and Textiles*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00210-z>

Kairu, C. (2021). Augmented Reality and Its Influence on Cognitive Thinking in Learning. *American Journal of Educational Research*, 9(8), 504. <https://doi.org/10.12691/education-9-8-6>

Kalyani, L. K. (2024). The Role of Technology in Education: Enhancing Learning Outcomes and 21st Century Skills. *International Journal of Scientific Research in Modern Science and Technology*, 3(4), 5. <https://doi.org/10.59828/ijrmst.v3i4.199>

Kamaruddin, K., & Hanapi, M. S. (2021). The Islamic Knowledge Approach as a Qualitative Data Analysis Method in Islamic-Based Research. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 11(2). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v11-i2/866>

Kamarrudin, H., Talib, O., Kamarudin, N., & Ismail, N. (2023). Igniting Active Engagement in Pre-Service Teachers in STEM Education: A Comprehensive Systematic Literature Review. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 8(6). <https://doi.org/10.47405/mjssh.v8i6.2342>

Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E. T., Urem, F., Hinić, M. L., Haamer, R. E., & Anbarjafari, G. (2023). Augmented Reality: Current and New Trends in Education. *Electronics*, 12(16), 3531. <https://doi.org/10.3390/electronics12163531>

- Karalekas, G., Vologiannidis, S., & Kalomiros, J. (2025). Teaching Artificial Intelligence and Machine Learning in Secondary Education: A Robotics-Based Approach. *Applied Sciences*, 15(8), 4570. <https://doi.org/10.3390/app15084570>
- Karpouzis, K. (2024). Artificial Intelligence in Education: Ethical Considerations and Insights from Ancient Greek Philosophy. 1. <https://doi.org/10.1145/3688671.3688772>
- Kaspi, S., & Venkatraman, S. (2023). Data-Driven Decision-Making (DDDM) for Higher Education Assessments: A Case Study. *Systems*, 11(6), 306. <https://doi.org/10.3390/systems11060306>
- Kazlacheva, Z., Stoykova, V., Georgieva, K., & Ilieva, J. (2018). Application of innovative technologies in fashion design education. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 459, 12080. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/459/1/012080>
- Kelp, N. C., McCartney, M., Sarvary, M. A., Shaffer, J. F., & Wolyniak, M. J. (2023). Developing Science Literacy in Students and Society: Theory, Research, and Practice. *In Journal of Microbiology and Biology Education* (Vol. 24, Issue 2). American Society for Microbiology. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00058-23>
- Kiger, M. E., & Varpio, L. (2020). Thematic analysis of qualitative data: AMEE Guide No. 131. *Medical Teacher*, 42(8), 846. <https://doi.org/10.1080/0142159x.2020.1755030>
- Killian, S. A., Beck, D., O'Bryan, C. A., Jarvis, N., Clausen, E. C., & Crandall, P. G. (2014). Student-Centered and Dynamic Interfaces that Enrich Technical Learning for Online Science Learners: A Review of the Literature [Review of Student-Centered and Dynamic Interfaces that Enrich Technical Learning for Online Science Learners: A Review of the Literature]. *Journal of Food Science Education*, 13(3), 47. Wiley. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12034>
- Kim, H. (2014). Analysis of variance (ANOVA) comparing means of more than two groups. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(1), 74. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.1.74>

- Kim, J., Park, J., & Shin, S. (2016). Effectiveness of simulation-based nursing education depending on fidelity: a meta-analysis [Review of Effectiveness of simulation-based nursing education depending on fidelity: a meta-analysis]. *BMC Medical Education*, 16(1). BioMed Central. <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0672-7>
- Kirk, R. E. (1999). Statistics: An Introduction. *Technometrics*, 41(3), 271. <https://doi.org/10.1080/00401706.1999.10485691>
- Kiryakova, G. (2020). *The Immersive Power of Augmented Reality*. In IntechOpen eBooks. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92361>
- Kjelsberg, R. (2024). Skepticism and physics: epistemic beliefs of Norwegian physics students compared with other student groups. *Discover Education*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00153-3>
- Kluge, A. (2014). Combining Laboratory Experiments with Digital Tools to Do Scientific Inquiry. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2157. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.916456>
- Knight, J., & Wood, W. B. (2005). Teaching More by Lecturing Less. *Cell Biology Education*, 4(4), 298. <https://doi.org/10.1187/05-06-0082>
- Konak, A., Clark, T., & Nasereddin, M. (2013). Using Kolb's Experiential Learning Cycle to improve student learning in virtual computer laboratories. *Computers & Education*, 72, 11. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.013>
- Kolil, V. K., Parvathy, S. U., & Achuthan, K. (2023). Confirmatory and validation studies on experimental self-efficacy scale with applications to multiple scientific disciplines. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1154310>
- Koponen, I. T. (2021). Nature of Science (NOS) Being Acquainted with Science of Science (SoS): Providing a Panoramic Picture of Sciences to Embody NOS for Pre-Service Teachers. *Education Sciences*, 11(3), 107. <https://doi.org/10.3390/educsci11030107>

- Kostøl, K. B., Bøe, M. V., & Skår, A. R. (2022). Nature of Science in Norway's Recent Curricula Reform. *Science & Education*, 32(5), 1561. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00399-z>
- Küçükaydın, M. A., & Ayaz, E. (2024). Validation of the Scientific Reasoning Competencies Instrument: Relationships with Epistemological Beliefs and Analytical Thinking. *International Journal of Science and Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10482-2>
- Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>
- Kovács, P., Kuruczleki, É., Kazar, K., Lipták, L., & Rácz, T. (2021). Modern teaching methods in action in statistical classes. *Statistical Journal of the IAOS*, 37(3), 899. <https://doi.org/10.3233/sji-210843>
- Kovarik, P., & Kubiato, M. (2023). Psychometric characteristic of scientific literacy test among primary school pupils. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3732027/v1>
- Koukouríkoc, K., Tsaloglidou, A., Kourkouta, L., Papathanasiou, I. V., Iliadis, C., Fratzana, A., & Παναγιώτου, A. (2021). Simulation in Clinical Nursing Education. *Acta Informatica Medica*, 29(1), 15. <https://doi.org/10.5455/aim.2021.29.15-20>
- Kubiato, M. (2018). Validity and reliability analyses for the climate of science subjects research tool. *Open Access Journal of Science*, 2(4). <https://doi.org/10.15406/oajs.2018.02.00084>
- kumar, J. R. A., Rajan, M. S., Ramasamy, A., & Singh, D. B. K. (2020). Efficient Cognitive Skill Based Learning System using Augmented Reality. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 9(3), 723. <https://doi.org/10.35940/ijrte.c4581.099320>
- Kurniawati, A. (2021). Science Process Skills and Its Implementation in the Process of Science Learning Evaluation in Schools. *Journal of Science Education Research*, 5(2), 16. <https://doi.org/10.21831/jsr.v5i2.44269>

Lateef, F. (2010). Simulation-based learning: Just like the real thing. *Journal of Emergencies Trauma and Shock*, 3(4), 348. <https://doi.org/10.4103/0974-2700.70743>

Laverty, J. T., Cooper, M. M., & Caballero, M. D. (2015). Developing the Next Generation of Physics Assessments. *2017 Physics Education Research Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.042>

Latif, E., Chen, Y., Zhai, X., & Yin, Y. (2025). *Human-Centered Design for AI-based Automatically Generated Assessment Reports: A Systematic Review*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2501.00081>

Lauer, L., Altmeyer, K., Malone, S., Barz, M., Brünken, R., Sonntag, D., & Peschel, M. (2021). Investigating the Usability of a Head-Mounted Display Augmented Reality Device in Elementary School Children. *Sensors*, 21(19), 6623. <https://doi.org/10.3390/s21196623>

Λαμπρόπουλος, Γ., Keramopoulos, E., Diamantaras, K., & Evangelidis, G. (2022). Augmented Reality and Gamification in Education: A Systematic Literature Review of Research, Applications, and Empirical Studies. *Applied Sciences*, 12(13), 6809. <https://doi.org/10.3390/app12136809>

Lazaraton, A. (2013). Ethics in Qualitative Research. In *The Encyclopedia of Applied Linguistics* (p. 1). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781405198431.wbeal1410>

Lean, J., Moizer, J., Derham, C., Strachan, L., & Bhuiyan, Z. (2020). Real World Learning: Simulation and Gaming. In Springer eBooks (p. 187). *Springer Nature*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46951-1_9

Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology*, 1(3), 138. <https://doi.org/10.18404/ijemst.19784>

Lederman, J. S., Bartels, S. L., Jiménez, J. P., Lederman, N. G., Acosta, K., Adbo, K., Akerson, V. L., Andrade, M. A. B. S. de, Avraamidou, L., Barber, K.-A., Blanquet, E., BouJaoude, S., Cardoso, R., Cesljarev, C., Chaipidech, P., Connolly, C. P., Crowther, D. T., Das, P. M., Doğan, Ö. K., ... Zhu, Q. (2023). Completing the progression

establishing an international baseline of primary, middle and secondary students' views of scientific inquiry. *International Journal of Science Education*, 46(7), 715.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2256458>

Lee, S., & Lee, D. K. (2018). What is the proper way to apply the multiple comparison test? *Korean Journal of Anesthesiology*, 71(5), 353.

<https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00242>

Lewis, R., Strachan, A., & Smith, M. M. (2012). Is High Fidelity Simulation the Most Effective Method for the Development of Non-Technical Skills in Nursing? A Review of the Current Evidence [Review of Is High Fidelity Simulation the Most Effective Method for the Development of Non-Technical Skills in Nursing? A Review of the Current Evidence]. *The Open Nursing Journal*, 6, 82. Bentham Science Publishers.

<https://doi.org/10.2174/1874434601206010082>

Li, H., Gobert, J. D., Graesser, A., & Dickler, R. (2018). Advanced Educational Technology for Science Inquiry Assessment. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 5(2), 171. <https://doi.org/10.1177/2372732218790017>

Li, Y., & Guo, M. (2021). Scientific Literacy in Communicating Science and Socio-Scientific Issues: Prospects and Challenges. *Frontiers in Psychology*, 12.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.758000>

Limbong, A. M., Putri, D. A. P., Mujiono, M., Casmal, M., & Soko, I. P. (2023). Student Response to the Use of Augmented Reality Media in the Circulatory System in Humans. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 5453.

<https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.3922>

Liu, H. (2015). *Comparing Welch ANOVA, a Kruskal-Wallis test, and traditional ANOVA in case of heterogeneity of variance*. <https://doi.org/10.25772/bwfp-ye95>

Liu, C. K., Meng, S., Zheng, W., & Zhou, Z. (2025). Research on the impact of immersive virtual reality classroom on student experience and concentration. *Virtual Reality*, 29(2). <https://doi.org/10.1007/s10055-025-01153-w>

Liunokas, S. M., Louise, I. S. Y., & Sampouw, F. (2021). Chemistry Teacher's Perception About Their Technology, Pedagogical, and Content Knowledge (TPACK).

Advances in Social Science, Education and Humanities Research/Advances in Social Science, Education and Humanities Research.

<https://doi.org/10.2991/assehr.k.210326.045>

Lom, B. (2012). Classroom Activities: Simple Strategies to Incorporate Student-Centered Activities within Undergraduate Science Lectures. *PubMed*, 11(1).

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23494568>

López, J. M. G., Betancourt, R., Ramírez, J. M., Laureano, E. V., & Rodríguez-Haro, F. (2019). Incorporating Virtual Reality into the Teaching and Training of Grid-Tie Photovoltaic Power Plants Design. *Applied Sciences*, 9(21), 4480.

<https://doi.org/10.3390/app9214480>

Looyesen, A., & Rachid, M. (2022). Leading the Charge: Shaping the Integration of Technology. *International Journal for Leadership in Learning*, 22(1), 149.

<https://doi.org/10.29173/ijll8>

Luis, C. E. M., Martín-Gutiérrez, J., Díaz, B. A., & González-Marrero, A. (2016). Virtual Technologies Trends in Education. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(2). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00626a>

Luzyawati, L., Hamidah, I., Faudzan, A., & Wiyati, E. (2023). Lesson Study to Improve Students' Scientific Literacy Abilities on Respiratory System Material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(8), 6626. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i8.3806>

Madsen, C. B., Mariegaard, S., Zhou, C., Elmose, S., Levinsen, H., Petersen, J. H., Kaya, G., Şardağ, M., & Dönmez, İ. (2024). Scandinavian Approaches to Continuing Science Teacher Education: What Can We Learn from an International Literature Review? *Research Portal Denmark*, 2280, 406.

<https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=via&id=via->

[eb6de026-9d4a-4340-bb64-](https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=via&id=via-eb6de026-9d4a-4340-bb64-)

[9aaeb4d786db&ti=Scandinavian%20Approaches%20to%20Continuing%20Science%20Teacher%20Education%3A%20What%20Can%20We%20Learn%20from%20an%20International%20Literature%20Review%3F](https://local.forskningsportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=via&id=via-9aaeb4d786db&ti=Scandinavian%20Approaches%20to%20Continuing%20Science%20Teacher%20Education%3A%20What%20Can%20We%20Learn%20from%20an%20International%20Literature%20Review%3F)

Mallek, F., Mazhar, T., Shah, S. F. A., Ghadi, Y. Y., & Hamam, H. (2024). A review on cultivating effective learning: synthesizing educational theories and virtual reality for enhanced educational experiences [Review of A review on cultivating effective learning: synthesizing educational theories and virtual reality for enhanced educational experiences]. *PeerJ Computer Science*, 10. PeerJ, Inc. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2000>

Man, J., Guo, F., & Ma, C. (2020). Innovative Analysis of Higher Vocational Education Model Based on Virtual Reality Technology. *Journal of Physics Conference Series*, 1533(2), 22097. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1533/2/022097>

Mandal, P. C. (2018). Qualitative data analysis and its nature: debates and discussion. *International Journal of Society Systems Science*, 10(2), 148. <https://doi.org/10.1504/ijsss.2018.10013668>

Marrahí-Gómez, V., & Belda-Medina, J. (2024). Assessing the effect of Augmented Reality on English language learning and student motivation in secondary education. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1359692>

Maroungkas, A., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2023). Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade [Review of Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade]. *Electronics*, 12(13), 2832. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/electronics12132832>

Matkovič, M. (2024). THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN TEACHING GEOGRAPHY IN SECONDARY SCHOOL. *GAMTAMOKSLINIS UGDYMAS / NATURAL SCIENCE EDUCATION*, 21(1), 42. <https://doi.org/10.48127/gu-nse/24.21.42>

Maison, M., Darmaji, D., Aatalini, Kurniawan, D. A., Haryanto, H., Kurniawan, W., Suryani, A., Lumbantoruan, A., & Dewi, U. P. (2020). Science Process Skill in Science Program Higher Education. *Universal Journal of Educational Research*, 8(2), 652. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080238>

- Maienschein, J. (1998). Scientific Literacy. *Science*, 281(5379), 917. <https://doi.org/10.1126/science.281.5379.917>
- Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B., Pea, R., & Bailenson, J. N. (2018). Immersive Virtual Reality Field Trips Facilitate Learning About Climate Change. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>
- Marley, S. A., Siani, A., & Sims, S. (2022). Real-life research projects improve student engagement and provide reliable data for academics. *Ecology and Evolution*, 12(12). <https://doi.org/10.1002/ece3.9593>
- Marsari, H., & Rifma, R. (2023). The Development of STEM-Based Teaching Materials to Improve Science Literacy for Grade III Elementary School Students. *AL-ISHLAH Jurnal Pendidikan*, 15(2), 1297. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i2.2809>
- Maulana, F. I., & Purnomo, A. (2021). Development of Virtual Reality Application to Increase Student Learning Motivation with Interactive Learning in Vocational Education. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1071(1), 12019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1071/1/012019>
- McGaghie, W. C., Siddall, V. J., Mazmanian, P. E., & Myers, J. (2009). Lessons for Continuing Medical Education From Simulation Research in Undergraduate and Graduate Medical Education [Review of Lessons for Continuing Medical Education From Simulation Research in Undergraduate and Graduate Medical Education]. *CHEST Journal*, 135(3). *Elsevier BV*. <https://doi.org/10.1378/chest.08-2521>
- Medical Simulation Technology: What is it and How Does it Help? (2016). *Journal of Pediatric Surgical Nursing*, 5(4), 12. <https://doi.org/10.1097/jps.0000000000000122>
- Merchán, M. J., Merchán, P., & Pérez, E. (2021). Good Practices in the Use of Augmented Reality for the Dissemination of Architectural Heritage of Rural Areas. *Applied Sciences*, 11(5), 2055. <https://doi.org/10.3390/app11052055>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2013). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning

outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>

Mikkonen, K., Tomietto, M., & Watson, R. (2022). Instrument development and psychometric testing in nursing education research. *Nurse Education Today*, 119, 105603. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2022.105603>

Miller, J. D. (2004). Public Understanding of, and Attitudes toward, Scientific Research: What We Know and What We Need to Know. *Public Understanding of Science*, 13(3), 273. <https://doi.org/10.1177/0963662504044908>

Miller, D. L., & Dousay, T. A. (2015). Implementing Augmented Reality in the Classroom. *Issues and Trends in Educational Technology*, 3(2). https://doi.org/10.2458/azu_itet_v3i2_miller

Minoufekr, M. (2020). Holo Study – Mixed Reality Framework for Industrial Engineering Education and Training. *Trends in Technical & Scientific Research*, 4(5). <https://doi.org/10.19080/ttsr.2020.04.555647>

Mishra, P., Singh, U., Pandey, C., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of student's t-test, analysis of variance, and covariance. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(4), 407. https://doi.org/10.4103/aca.aca_94_19

Mnguni, L. (2014). The theoretical cognitive process of visualization for science education [Review of *The theoretical cognitive process of visualization for science education*]. *SpringerPlus*, 3(1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-184>

Mrani, C. A., Hajjami, A. E., & khattabi, K. E. (2020). Effects of the Integration of PhET Simulations in the Teaching and Learning of the Physical Sciences of Common Core (Morocco). *Universal Journal of Educational Research*, 8(7), 3014. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080730>

Molugaram, K., & Rao, G. S. (2017). ANOVA (Analysis of Variance). In *Elsevier eBooks* (p. 451). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811555-8.00011-8>

Mondal, H., & Mondal, S. (2025). Adopting augmented reality and virtual reality in medical education in resource-limited settings: constraints and the way forward. *AJP Advances in Physiology Education*. <https://doi.org/10.1152/advan.00027.2025>

Mönch, C., & Markic, S. (2022). Science Teachers' Pedagogical Scientific Language Knowledge—A Systematic Review. *Education Sciences*, 12(7), 497. <https://doi.org/10.3390/educsci12070497>

Monnas, L. (2018). Insight stories: Looking into teacher support in enhancing scientific thinking skills among pre-school students. *JOURNAL OF EDUCATIONAL SCIENCES*, 2(1), 19. <https://doi.org/10.31258/jes.2.1.p.19-25>

Montagud, M., Cernigliaro, G., Arevalillo-Herráez, M., García, M., Segura-García, J., & Fernández, S. (2022). Social VR and multi-party holographic communications: Opportunities, Challenges and Impact in the Education and Training Sectors. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2210.00330>

Moro, A., Vinha, T. P., & Morais, A. de. (2019). SCHOOL CLIMATE EVALUATION: DESIGNING AND VALIDATING MEASUREMENT INSTRUMENTS. *Cadernos de Pesquisa*, 49(172), 312. <https://doi.org/10.1590/198053146151>

Morris, D. L. (2025). Rethinking Science Education Practices: Shifting from Investigation-Centric to Comprehensive Inquiry-Based Instruction. *Education Sciences*, 15(1), 73. <https://doi.org/10.3390/educsci15010073>

Moslehi, S., Masoumi, G., & Barghi-Shirazi, F. (2022). Benefits of simulation-based education in hospital emergency departments [Review of Benefits of simulation-based education in hospital emergency departments]. *Journal of Education and Health Promotion*, 11(1), 40. Medknow. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_558_21

Muczyński, B., Skorupska, K., Abramczuk, K., Biele, C., Bohdanowicz, Z., Cnotkowski, D., Collins, J., Kopeć, W., Kowalski, J., Pochwatko, G., & Logan, T. L. (2023). VR Accessibility in Distance Adult Education. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2309.04245>

Mundy, C. E., Potgieter, M., & Seery, M. K. (2023). A design-based research approach to improving pedagogy in the teaching laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(1), 266. <https://doi.org/10.1039/d3rp00134b>

Murni, A. W., Suryanti, S., & Suprpto, N. (2023). Use of bibliometric software to explore the relationship between scientific literacy and socio-scientific issues. *E3S Web of Conferences*, 450, 3009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345003009>

Murti, P. R., Aminah, N., & Harjana. (2018). The Analysis of High School Students' Science Literacy Based on Nature of Science Literacy Test (NOSLiT). *Journal of Physics Conference Series*, 1097, 12003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1097/1/012003>

Nadeem, M., Oroszlányová, M., & Farag, W. (2023). Effect of Digital Game-Based Learning on Student Engagement and Motivation. *Computers*, 12(9), 177. <https://doi.org/10.3390/computers12090177>

Naderifar, M., Goli, H., & ghaljaie, fereshteh. (2017). Snowball Sampling: A Purposeful Method of Sampling in Qualitative Research. *Strides in Development of Medical Education*, 14(3). <https://doi.org/10.5812/sdme.67670>

Naeem, M., Ozuem, W., Howell, K. E., & Ranfagni, S. (2023). A Step-by-Step Process of Thematic Analysis to Develop a Conceptual Model in Qualitative Research. *International Journal of Qualitative Methods*, 22. <https://doi.org/10.1177/16094069231205789>

Navarro, C., Arias-Calderón, M., Henríquez, C. A., & Riquelme, P. (2024). Assessment of Student and Teacher Perceptions on the Use of Virtual Simulation in Cell Biology Laboratory Education. *Education Sciences*, 14(3), 243. <https://doi.org/10.3390/educsci14030243>

Nassaji, H. (2015). Qualitative and descriptive research: Data type versus data analysis. *Language Teaching Research*, 19(2), 129. <https://doi.org/10.1177/1362168815572747>

Nguyen, L. A. T., & Habók, A. (2023). Tools for assessing teacher digital literacy: a review [Review of *Tools for assessing teacher digital literacy: a review*]. *Journal*

of *Computers in Education*, 11(1), 305. Springer Science+Business Media.
<https://doi.org/10.1007/s40692-022-00257-5>

Nicol, C. B. (2021). An Overview of Inquiry-Based Science Instruction Amid Challenges. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 17(12). <https://doi.org/10.29333/ejmste/11350>

Nielsen, B. L., Brandt, H., & Swensen, H. (2018). Students developing representational competence as producers with and of augmented reality in science. *Nordic Studies in Science Education*, 14(2), 138.
<https://doi.org/10.5617/nordina.6163>

Noble, H., & Smith, J. (2013). Qualitative data analysis: a practical example. *Evidence-Based Nursing*, 17(1), 2. <https://doi.org/10.1136/eb-2013-101603>

Nowell, L., Norris, J. M., White, D., & Moules, N. J. (2017). Thematic Analysis. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1).
<https://doi.org/10.1177/1609406917733847>

Norambuena-Meléndez, M., Guerrero, G., & González-Weil, C. (2023). What is meant by scientific literacy in the curriculum? A comparative analysis between Bolivia and Chile. *Cultural Studies of Science Education*, 18(3), 937.
<https://doi.org/10.1007/s11422-023-10190-3>

Nurulia, E. (2021). Science Process Skills in Learning Physics: Is there an influence on learning outcomes? *Sang Pencerah Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.35326/pencerah.v7i1.770>

Nurulsari, N., Nisa, K., Viyanti, V., & Yassine, B. (2023). HOTS-Oriented Student Worksheets with Blended Learning: Improving Students' Science Process Skills. *Online Learning In Educational Research (OLER)*, 3(1), 47.
<https://doi.org/10.58524/oler.v3i1.228>

OECD (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. OECD Publishing.

Oleksiuk, V., & Oleksiuk, O. R. (2022). Examining the potential of augmented reality in the study of Computer Science at school. *Educational Technology Quarterly*, 2022(4), 307. <https://doi.org/10.55056/etq.432>

- Olorundare, S. A. (1988). Scientific literacy in Nigeria: The role of science education programmes. *International Journal of Science Education*, 10(2), 151. <https://doi.org/10.1080/0950069880100203>
- Ongowo, R. O. (2017). Secondary School Students' Mastery of Integrated Science Process Skills in Siaya County, Kenya. *Creative Education*, 8(12), 1941. <https://doi.org/10.4236/ce.2017.812132>
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). Science Education in Europe: Critical Reflections. *The Nuffield Foundation*.
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse [Review of Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse]. *Science*, 328(5977), 463. *American Association for the Advancement of Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Ou, K.-L., Chu, S.-T., & Tarng, W. (2021). Development of a Virtual Wetland Ecological System Using VR 360° Panoramic Technology for Environmental Education. *Land*, 10(8), 829. <https://doi.org/10.3390/land10080829>
- Ouf, S., Ahmed, S., & Helmy, Y. (2025). A blockchain based deep learning framework for a smart learning environment. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03688-z>
- Owens, D., Petitt, D. N., Lally, D., & Forbes, C. T. (2020). Cultivating Water Literacy in STEM Education: Undergraduates' Socio-Scientific Reasoning about Socio-Hydrologic Issues. *Water*, 12(10), 2857. <https://doi.org/10.3390/w12102857>
- Owusu, G. (2023). The Effect of Laboratory Practical Activities on Senior High School Student's Academic Performance in Relation to Force Concept. *International Journal of Education Culture and Society*, 1(1), 35. <https://doi.org/10.58578/ijecs.v1i1.1496>
- Palada, B., Chandan, V. S., Gowda, C. P., & Nikitha, Prof. (2024). The Role of Augmented Reality (AR) in Education. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(3), 1400. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.59079>

Palter, V. N., & Grantcharov, T. (2010). Simulation in surgical education [Review of Simulation in surgical education]. *Canadian Medical Association Journal*, 182(11), 1191. *Canadian Medical Association*. <https://doi.org/10.1503/cmaj.091743>

Pan, Z. (2022). Application of Augmented Reality in the Teaching of English in Early Childhood Education. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research/Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220704.093>

Park, W., & Brock, R. (2022). Is There a Limit to Resemblances? *Science & Education*, 32(5), 1265. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00394-4>

Pellegrino, J. W. (2013). Proficiency in Science: Assessment Challenges and Opportunities [Review of *Proficiency in Science: Assessment Challenges and Opportunities*]. *Science*, 340(6130), 320. American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1232065>

Peña, C., Vargas, L. G. V., & Murcia, J. C. S. (2020). Approach to professional practice from simulators and virtual laboratories. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 844(1), 12036. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/844/1/012036>

Peniero, T. F., & Matsuura, T. (2020). Science Teaching and Learning in Japan and the Philippines: A Comparative Study. *Universal Journal of Educational Research*, 8(4), 1237. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080414>

Pérez-Jorge, D., Olmos-Raya, E., Contreras, A. I. G., & Pérez, I. P. (2025). Technologies applied to education in the learning of English as a second language. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1481708>

Petrov, P. D., & Atanasova, T. (2020). The Effect of Augmented Reality on Students' Learning Performance in Stem Education. *Information*, 11(4), 209. <https://doi.org/10.3390/info11040209>

Piila, E., Salmi, H., & Thuneberg, H. (2021). STEAM-Learning to Mars: Students' Ideas of Space Research. *Education Sciences*, 11(3), 122. <https://doi.org/10.3390/educsci11030122>

Poornesh, M. (2024). Through a Teacher's Lens: Combating Bias in AI-Powered Education for a Just Future. *The Clearing House A Journal of Educational Strategies Issues and Ideas*, 97(4), 119. <https://doi.org/10.1080/00098655.2024.2393153>

Prasetya, F., Fortuna, A., Samala, A. D., Rawas, S., Mystakidis, S., Syahril, S., Waskito, W., Primawati, Wulansari, R. E., & Kassymova, G. K. (2024). The impact of augmented reality learning experiences based on the motivational design model: A meta-analysis. *Social Sciences & Humanities Open*, 10, 100926. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100926>

Preez, H. du, Hill, T., Coetzee, L., Motsamai, L., & Stark, K. (2023). Exposing students to a simulation of the online platform used by the South African revenue service. *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 16(2), 139. <https://doi.org/10.1108/jrit-12-2022-0083>

Pyae, A., Ravyse, W., Luimula, M., Pizarro-Lucas, E., Sánchez, P. L., Dorado-Díaz, I. P., & Thaw, A. K. (2023). Exploring User Experience and Usability in a Metaverse Learning Environment for Students: A Usability Study of the Artificial Intelligence, Innovation, and Society (AIIS). *Electronics*, 12(20), 4283. <https://doi.org/10.3390/electronics12204283>

Quintero, J., Baldiris, S., García, R. R., Cerón, J., & Vélez, G. (2019). Augmented Reality in Educational Inclusion. A Systematic Review on the Last Decade [Review of Augmented Reality in Educational Inclusion. A Systematic Review on the Last Decade]. *Frontiers in Psychology*, 10. *Frontiers Media*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01835>

Rahmawati, A. J., Gunarhadi, G., & Muchtarom, M. (2023). Self-Regulated Learning Enhancing Scientific Literacy for Higher Educations in 21st Century Education: A Systematic Literature Review. *AL-ISHLAH Jurnal Pendidikan*, 15(2), 2625. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i2.2353>

Rahmawati, A., Haryanto, Z., & Sulaeman, N. F. (2021). Digital literacy of indonesian prospective physics teacher: Challenges beyond the pandemic. *Journal of Physics Conference Series*, 2104(1), 12004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2104/1/012004>

- Rahmi, J., Wibawa, B., & Khaerudin, K. (2021). Mobile Augmented Reality (mAR) blended learning application in animal cells learning. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1098(3), 32097. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/3/032097>
- Rainey, K. D., Jambuge, A. P., Lavery, J. T., & Wilcox, B. R. (2020). Developing coupled, multiple-response assessment items addressing scientific practices. *2017 Physics Education Research Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1119/perc.2020.pr.rainey>
- Rangarajan, V., Badr, A. S., & Amicis, R. D. (2024). Evaluating Virtual Reality in Education: An Analysis of VR through the Instructors' Lens. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(8), 72. <https://doi.org/10.3390/mti8080072>
- Reina-Guzmán, N. D., Sandoval-Parra, K. X., Ortiz-Moreno, M. L., & Guerrero, S. C. (2022). Gamification in the microbiology classroom for biology students during the COVID-19 pandemic. *ENTRAMADO*, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.7674>
- Richards, K. A. R., & Hemphill, M. A. (2017). A Practical Guide to Collaborative Qualitative Data Analysis. *Journal of Teaching in Physical Education*, 37(2), 225. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2017-0084>
- Robinson, D. (1987). Model Program for the Preparation of Middle School Science Teachers. *Bulletin of Science Technology & Society*, 7, 243. <https://doi.org/10.1177/027046768700700142>
- Rodríguez, J. L. (2024). Virtual reality in the classroom: a difficult but exciting adventure for teachers and students. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1294715>
- Rojo, A., Raya, L., & Sánchez, A. (2021). A Novel Mixed Reality Solution Based on Learning Environment for Sutures in Minor Surgery. *Applied Sciences*, 11(5), 2335. <https://doi.org/10.3390/app11052335>

Roméro, M. (2019). Computers in Secondary Schools: Educational Games. *In Encyclopedia of Education and Information Technologies* (p. 1). https://doi.org/10.1007/978-3-319-60013-0_31-1

Rossi, I. V., Lima, J. D. de, Sabatke, B., Nunes, M. A. F., Ramirez, G. E., & Ramirez, M. I. (2020). Active learning tools improve the learning outcomes, scientific attitude and critical thinking in higher education: Experiences in an online course during the COVID-19 pandemic. *bioRxiv* (Cold Spring Harbor Laboratory). <https://doi.org/10.1101/2020.12.22.423922>

Rosen, W. G. (1989). Teaching High-School Biology: Materials and Strategies. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218805/>

Roshanaei, M., Olivares, H., & Lopez, R. R. (2023). Harnessing AI to Foster Equity in Education: Opportunities, Challenges, and Emerging Strategies. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 15(4), 123. <https://doi.org/10.4236/jilsa.2023.154009>

Rouf, F. A., Arthur, R., Daryati, & Maulana, A. (2021). Prototype of Science Literacy Instruments on the Competence of Construction and Property Technology Expertise. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research/Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210305.096>

Ruiz-Rojas, L. I., Salvador-Ullauri, L., & Acosta-Vargas, P. (2024). Collaborative Working and Critical Thinking: Adoption of Generative Artificial Intelligence Tools in Higher Education. *Sustainability*, 16(13), 5367. <https://doi.org/10.3390/su16135367>

Rustan, N. A., Winarni, R., & Yamtinah, S. (2020). Analysis of Science Process Skill on Science Learning in Primary School. *Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Innovation and Quality Education (ICLIQE 2019)*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200129.100>

Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>

- Ruxton, G. D., & Beauchamp, G. (2008). Time for some a priori thinking about post hoc testing. *Behavioral Ecology*, 19(3), 690. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn020>
- Sadler, T. D. (2006). Promoting Discourse and Argumentation in Science Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, 17(4), 323. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9025-4>
- Şadoğlu, G. P. (2018). Engineering Students' Opinions on Science Literacy. *Universal Journal of Educational Research*, 6(8), 1819. <https://doi.org/10.13189/ujer.2018.060827>
- Salandin, A. (2020). Prappctices in Physics For Engineering Students. *Studies in Educational Management*, 8, 1. <https://doi.org/10.32038/sem.2020.08.01>
- Sanjari, M., Bahramnezhad, F., Fomani, F. K., Shoghi, M., & Cheraghi, M. A. (2014). Ethical challenges of researchers in qualitative studies: the necessity to develop a specific guideline. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals), 7, 14. <https://doaj.org/article/def7124fdcea400fa1b2eed33bf048e7>
- Stanton, J. D., Sebesta, A. J., & Dunlosky, J. (2021). Fostering Metacognition to Support Student Learning and Performance. *CBE—Life Sciences Education*, 20(2). <https://doi.org/10.1187/cbe.20-12-0289>
- Sarimanah, E., Efendi, R., & Dewi, F. I. (2021). The Development of Online-Based Microteaching Learning in Improving the Teaching Basic Skills in the Covid Era 19. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research/Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210715.070>
- Sargani, G. R., Jiang, Y., Zhou, D., Chandio, A. A., Hussain, M., & Khan, N. A. (2021). Endorsing Sustainable Enterprises Among Promising Entrepreneurs: A Comparative Study of Factor-Driven Economy and Efficiency-Driven Economy. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.735127>
- Sarode, A., Rathi, S., Shetty, P., Parmar, P., & Dhake, T. (2019). Lab Equipment Demonstration Using Augmented Reality. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3370125>

Saunders, C., & Taylor, A. (2014). Close the Textbook & Open “The Cell: An Image Library.” *The American Biology Teacher*, 76(3), 201. <https://doi.org/10.1525/abt.2014.76.3.9>

Sawyer, S. F. (2009). Analysis of Variance: The Fundamental Concepts. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 17(2). <https://doi.org/10.1179/jmt.2009.17.2.27e>

Scalise, K., Timms, M. J., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K., & Irvin, P. S. (2011). Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1050. <https://doi.org/10.1002/tea.20437>

Sharon, A. J., & Baram-Tsabari, A. (2020). Can science literacy help individuals identify misinformation in everyday life? *Science Education*, 104(5), 873. <https://doi.org/10.1002/sce.21581>

Schiefer, J., Edelsbrunner, P. A., Bernholt, A., Kampa, N., & Nehring, A. (2022). Epistemic Beliefs in Science—A Systematic Integration of Evidence From Multiple Studies. *Educational Psychology Review*, 34(3), 1541. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09661-w>

Schlatter, E., Lazonder, A. W., Molenaar, I., & Janssen, N. (2021). Individual Differences in Children’s Scientific Reasoning. *Education Sciences*, 11(9), 471. <https://doi.org/10.3390/educsci11090471>

Schooner, P., Höst, G., Klasander, C., & Hällström, J. (2022). Teachers’ cognitive beliefs about their assessment and use of tools when evaluating students’ learning of technological systems: a questionnaire study. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(3), 937. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09763-0>

Schutera, S., Schnierle, M., Wu, M., Pertz, T., Seybold, J., Bauer, P., Teutscher, D., Raedle, M., Heß-Mohr, N., Röck, S., & Krause, M. J. (2021). On the Potential of Augmented Reality for Mathematics Teaching with the Application cleARmaths. *Education Sciences*, 11(8), 368. <https://doi.org/10.3390/educsci11080368>

- Schuwirth, L., & Vleuten, C. van der. (2018). *How to Design a Useful Test* (p. 275). <https://doi.org/10.1002/9781119373780.ch20>
- Shankar, V. T. A. U. (2023). Impact of Virtual Reality (Vr) and Augmented Reality (Ar) in Education. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*, 44(4), 1310. <https://doi.org/10.52783/tjjpt.v44.i4.1014>
- Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Schultz, D. (2017). Teacher Perceptions of Their Curricular and Pedagogical Shifts: Outcomes of a Project-Based Model of Teacher Professional Development in the Next Generation Science Standards. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00989>
- Sholihah, N. A. A., Sarwanto, & Aminah, N. (2020). Analysis of science process skill in high school students. *Journal of Physics Conference Series*, 1567(3), 32081. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/3/032081>
- Silva, M. M. O. da, Teixeira, J. M., Cavalcante, P. S., & Teichrieb, V. (2019). Perspectives on how to evaluate augmented reality technology tools for education: a systematic review [Review of Perspectives on how to evaluate augmented reality technology tools for education: a systematic review]. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 25(1). Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1186/s13173-019-0084-8>
- Simonova, O., Barashyan, V. K., Gampartsumov, A. S., & Khlebnikova, M. (2021). The application of reality simulators for improving the education quality at universities. *E3S Web of Conferences*, 273, 12081. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127312081>
- Singh, S. P., Kaur, A., & Gulzar, Y. (2024). The impact of augmented reality on education: a bibliometric exploration. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1458695>
- Snow, C. E., & Dibner, K. A. (2016). Science Literacy and Health Literacy: Rationales, Definitions, and Measurement. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK396086/>
- Song, Y., Wu, K., & Ding, J. (2024). Developing an immersive game-based learning platform with generative artificial intelligence and virtual reality technologies –

“LearningverseVR.” *Computers & Education X Reality*, 4, 100069.
<https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100069>

Soltis, R. P., Verlinden, N. J., Kruger, N. K., Carroll, A., & Trumbo, T. (2015). Process-Oriented Guided Inquiry Learning Strategy Enhances Students’ Higher Level Thinking Skills in a Pharmaceutical Sciences Course. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 79(1), 11. <https://doi.org/10.5688/ajpe79111>

Sowunmi, K., RAJI, F. A., Ashirafdeen, B. A., & Enoch, A. (2024). Hands-on Activities and Their Influence on Students’ Interest in Biology as a Subject in Technical Colleges in Lagos State. *Research Square (Research Square)*.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5353475/v1>

Sparks, R. A., Jimenez, P. C., Kirby, C. K., & Dauer, J. M. (2022). Using Critical Integrative Argumentation to Assess Socioscientific Argumentation across Decision-Making Contexts. *Education Sciences*, 12(10), 644.
<https://doi.org/10.3390/educsci12100644>

Stecher, B. M., & Klein, S. P. (1997). The Cost of Science Performance Assessments in Large-Scale Testing Programs. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 19(1), 1. <https://doi.org/10.3102/01623737019001001>

Stoeckel, M. R. (2020). Literature Review of Constructivism in Online Science Courses. arXiv (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2007.07745>

Stone, E. (2014). Guiding Students to Develop an Understanding of Scientific Inquiry: A Science Skills Approach to Instruction and Assessment. *CBE—Life Sciences Education*, 13(1), 90. <https://doi.org/10.1187/cbe-12-11-0198>

Stylos, G., Siarka, O., & Kotsis, K. T. (2022). Assessing Greek pre-service primary teachers’ scientific literacy. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 11(2), 271. <https://doi.org/10.30935/scimath/12637>

Su, K.-D. (2022). THE EFFECTS OF CROSS-DISCIPLINARY LIFE SCIENCE INNOVATION IMPLEMENTED BY STUDENTS’ STIMULATED STRATEGIES FOR PBL-STEM SELF-EFFICACY. *Journal of Baltic Science Education*, 21(6), 1069.
<https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.1069>

Sudirman, S., Yaniawati, P., Mellawaty, M., & Indrawan, R. (2021). Augmented reality application: What are the constraints and perceptions of the students during the covid 19 pandemic's 3D geometry learning process? *Journal of Physics Conference Series*, 1783(1), 12007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1783/1/012007>

Sundler, A. J., Lindberg, E., Nilsson, C., & Palmér, L. (2019). Qualitative thematic analysis based on descriptive phenomenology. *Nursing Open*, 6(3), 733. <https://doi.org/10.1002/nop2.275>

Suwono, H., Pratiwi, H. E., Susanto, H., & Susilo, H. (2017). Enhancement of Students' Biological Literacy and Critical Thinking of Biology through Socio-Biological Case-Based Learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(2), 213. <https://doi.org/10.15294/jpii.v6i2.9622>

Suryanti, S., Ibrahim, M., & Lede, N. S. (2018). Process skills approach to develop primary students' scientific literacy: A case study with low achieving students on water cycle. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 296, 12030. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/296/1/012030>

Sommerauer, P., & Müller, O. (2014). Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. *Computers & Education*, 79, 59. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.013>

Sontay, G., & Karamustafaoğlu, O. (2021). Students' Views on the use of Augmented Reality Technology in Teaching Science. *European Journal of Educational Sciences*, 8(4), 1. <https://doi.org/10.19044/ejes.v8no4a1>

Stettiner, O. (2015). From Silico to Vitro: Computational Models of Complex Biological Systems Reveal Real-World Emergent Phenomena. In *Synthese Library/Synthese library* (p. 133). *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23291-1_9

Sundre, D. L., & Thelk, A. D. (2010). Advancing Assessment of Quantitative and Scientific Reasoning. *Numeracy*, 3(2). <https://doi.org/10.5038/1936-4660.3.2.2>

Suprpto, P. K., Suharsono, S., Chaidir, D. M., & Ali, M. A. (2019). Development of Wimba 3 Dimension Interactive Animation Media on Plant Anatomy. *Journal of*

Physics Conference Series, 1233(1), 12002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012002>

Syahmani, S., Sauqina, S., & Hafizah, E. (2021). Correlation of students' environmental literacy and scientific literacy after students' involvement in wetlands-based stem educational approach. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 758(1), 12014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/758/1/012014>

Tairab, H., & Al-Naqbi, A. K. (2017). Provision of Inquiry Instruction and Actual Level of Practice as Perceived by Science Teachers and their Students. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 14(1). <https://doi.org/10.12973/ejmste/80320>

Tait, L. M., Lee, K., Rasiah, R., Cooper, J., Ling, T., Geelan, B., & Bindoff, I. (2018). Simulation and Feedback in Health Education: A Mixed Methods Study Comparing Three Simulation Modalities. *Pharmacy*, 6(2), 41. <https://doi.org/10.3390/pharmacy6020041>

Tauhidah, D., & Rofi'ah, N. L. (2023). Validation of undergraduate science process skills tests: Rasch model analysis. *Research and Development in Education (RaDeN)*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.22219/raden.v3i1.24585>

Takriti, R., Tairab, H., Alhosani, N., Elhoweris, H., Schofield, L., Rabbani, L., & AlAmirah, I. (2022). Toward Understanding Science as a Whole. *Science & Education*, 32(5), 1321. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00404-5>

Tanner, K. D. (2013). Structure Matters: Twenty-One Teaching Strategies to Promote Student Engagement and Cultivate Classroom Equity. *CBE—Life Sciences Education*, 12(3), 322. <https://doi.org/10.1187/cbe.13-06-0115>

Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2(1), 53–55.

Teig, N. (2023). Uncovering Student Strategies for Solving Scientific Inquiry Tasks: Insights from Student Process Data in PISA. *Research in Science Education*, 54(2), 205. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10134-5>

Thangavel, S. (2025). Revolutionizing Education Through Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR): Innovations, Challenges and Future Prospects. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5195697>

Thelma, C. C., Sain, Z. H., Shogbesan, Y. O., Phiri, E. V., & Akpan, W. M. (2024). Ethical Implications of AI and Machine Learning in Education: A Systematic Analysis. 3(1), 1. <https://doi.org/10.33650/ijit.v3i1.9364>

Thibaut, L., Ceuppens, S., Loof, H. D., Meester, J. D., Goovaerts, L., Struyf, A., Pauw, J. B., Dehaene, W., Deprez, J., Cock, M. D., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Velde, D. van de, Petegem, P. V., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education [Review of *Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education*]. *European Journal of STEM Education*, 3(1). Lectito Journals. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>

Thisgaard, M. W., & Makransky, G. (2017). Virtual Learning Simulations in High School: Effects on Cognitive and Non-cognitive Outcomes and Implications on the Development of STEM Academic and Career Choice. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00805>

Thompson, M., Wang, A., Roy, D., & Klopfer, E. (2018). Authenticity, Interactivity, and Collaboration in VR Learning Games. *Frontiers in Robotics and AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00133>

Thorne, S. (2000). Data analysis in qualitative research. *Evidence-Based Nursing*, 3(3), 68. <https://doi.org/10.1136/ebn.3.3.68>

Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., Vinchon, F., Hayek, S. E., Augereau-Landais, M., Mourey, F., Feybesse, C., Sundquist, D., & Lubart, T. (2023). Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration: Assessment, Certification, and Promotion of 21st Century Skills for the Future of Work and Education [Review of *Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration: Assessment, Certification, and Promotion of 21st Century Skills for the Future of Work and Education*]. *Journal of Intelligence*, 11(3), 54. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>

- Timotheou, S., Miliou, O., Dimitriadis, Y., Villagr -Sobrino, S., Giannoutsou, N., Cachia, R., Mart nez-Mon s, A., & Ioannou, A. (2022). Impacts of digital technologies on education and factors influencing schools' digital capacity and transformation: A literature review [Review of *Impacts of digital technologies on education and factors influencing schools' digital capacity and transformation: A literature review*]. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6695. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11431-8>
- Tippins, N. T. (2015). Technology and Assessment in Selection. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 2(1), 551. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-031413-091317>
- Toma, R. B., & Lederman, N. G. (2020). A Comprehensive Review of Instruments Measuring Attitudes Toward Science [Review of *A Comprehensive Review of Instruments Measuring Attitudes Toward Science*]. *Research in Science Education*, 52(2), 567. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09967-1>
- Toma, R. B. (2021). Effect of confirmation and structured inquiry on attitudes toward school science. *School Science and Mathematics*, 122(1), 16. <https://doi.org/10.1111/ssm.12505>
- Tomei, L. A. (2013). Top 10 Technologies for Designing 21st Century Instruction. *International Journal of Information and Communication Technology Education*, 9(3), 80. <https://doi.org/10.4018/jicte.2013070106>
- Turreira-Garc a, N., Valencia-Ar as, A., & Christiansen, F. V. (2022). Diversity in the classroom: Addressing diverse learning and creating inclusive spaces for interdisciplinary interaction. *Research Portal Denmark*, 187. <https://local.forskningportal.dk/local/dki-cgi/ws/cris-link?src=ku&id=ku-55d8715a-9c44-4747-9d85-8d954086d680&ti=Diversity%20in%20the%20classroom%20%3A%20Addressing%20diverse%20learning%20and%20creating%20inclusive%20spaces%20for%20interdisciplinary%20interaction>

Turiman, P., Omar, J., Daud, A. M., & Osman, K. (2012). Fostering the 21st Century Skills through Scientific Literacy and Science Process Skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 59, 110. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.253>

Tyson, M. (2021). Impact of Augmented Reality on Vocabulary Acquisition and Retention. *Issues and Trends in Learning Technologies*, 9(1). https://doi.org/10.2458/azu_itlt_v9i1_tyson

Udeozor, C., Chan, P., Abegão, F. R., & Glassey, J. (2023). Game-based assessment framework for virtual reality, augmented reality and digital game-based learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00405-6>

Uzun, C., & Uygun, K. (2022). The Effect of Simulation-Based Experiential Learning Applications on Problem Solving Skills in Social Studies Education. *International Journal of Contemporary Educational Research*, 9(1), 28. <https://doi.org/10.33200/ijcer.913068>

Verma, S. (2020). Music treatment on patient on agitation level in early and middle stage alzheimer using: Two way analysis of variance. *International Journal of Applied Research*, 6(9), 1. <https://doi.org/10.22271/allresearch.2020.v6.i9a.7048>

Vert, S., & Andone, D. (2019). Virtual Reality Authoring Tools for Educators. *ITM Web of Conferences*, 29, 3008. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20192903008>

Vieira, R. M., & Tenreiro-Vieira, C. (2014). Fostering Scientific Literacy and Critical Thinking in Elementary Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(4), 659. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9605-2>

Villena-Taranilla, R., & Diago, P. D. (2025). Challenges and Implications of Virtual Reality in History Education: A Systematic Review [Review of Challenges and Implications of Virtual Reality in History Education: A Systematic Review]. *Applied Sciences*, 15(10), 5589. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/app15105589>

Vola, E., Stoltz, R., & Schumpert, C. A. (2023). Impacts of Virtual Reality Experiences: Enhanced Undergraduate Student Performance and Engagement with use of 360-degree video. *bioRxiv* (Cold Spring Harbor Laboratory).
<https://doi.org/10.1101/2023.02.16.528835>

Wan, R. (2018). Data coding for indigenous language research: attaching local meanings in generating categories and themes. *SHS Web of Conferences*, 53, 1002.
<https://doi.org/10.1051/shsconf/20185301002>

Wang, Y., & Wu, T. (2022). Effects of Online Cooperative Learning on Students' Problem-Solving Ability and Learning Satisfaction. *Frontiers in Psychology*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.817968>

Wasfy, H. M., Wasfy, T. M., Peters, J. M., & Mahfouz, R. (2011). Virtual Reality Enhanced Online Learning Environments as a Substitute for Classroom Instruction.
<https://doi.org/10.1115/detc2011-48826>

Wati, S., Idrus, A. A., & Syukur, A. (2021). Analysis of student scientific literacy: study on learning using ethnoscience integrated science teaching materials based on guided inquiry. *JURNAL PIJAR MIPA*, 16(5), 624. <https://doi.org/10.29303/jpm.v16i5.2292>

Wazirali, R. (2021). Aligning Education with Vision 2030 Using Augmented Reality. *Computer Systems Science and Engineering*, 36(2), 339.
<https://doi.org/10.32604/csse.2021.014301>

Weerasinghe, M., Biener, V., Grubert, J., Quigley, A., Toniolo, A., Pucihar, K. Č., & Kljun, M. (2022). VocabulARy: Learning Vocabulary in AR Supported by Keyword Visualisations. *arXiv* (Cornell University).
<https://doi.org/10.48550/arxiv.2207.00896>

Wei, Z., Liao, J., Lee, L.-H., Qu, H., & Xu, X. (2025). Towards Enhanced Learning through Presence: A Systematic Review of Presence in Virtual Reality Across Tasks and Disciplines. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2504.13845>

- Weissgerber, T. L., Valencia, O. A. G., Garovic, V. D., Milić, N., & Winham, S. J. (2018). Why we need to report more than “Data were Analyzed by t-tests or ANOVA.” *eLife*, 7. <https://doi.org/10.7554/elife.36163>
- Wenning, C. J., & Vieyra, R. E. (2020). *Scientific Practices and Intellectual Skills* (p. 8). https://doi.org/10.1063/9780735421967_008
- Wieman, C., & Perkins, K. K. (2006). A powerful tool for teaching science. *Nature Physics*, 2(5), 290. <https://doi.org/10.1038/nphys283>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Wiwin, E., & Kustijono, R. (2018). The use of physics practicum to train science process skills and its effect on scientific attitude of vocational high school students. *Journal of Physics Conference Series*, 997, 12040. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012040>
- Wong, L. P. (2008). Data analysis in qualitative research: a brief guide to using nvivo. *PubMed*, 3(1), 14. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25606106>
- Worley, P. (2015). Open thinking, closed questioning: Two kinds of open and closed question. *Journal of Philosophy in Schools*, 2(2). <https://doi.org/10.21913/jps.v2i2.1269>
- Wu, H., Lee, S. W., Chang, H., & Liang, J. (2012). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Xiaojun, Z., Liu, M., & Ya-qing, L. (2022). The Influence of Different Learning Strategies on Pupils’ Learning Motivation: Is Augmented Reality Multimedia Learning Consistent With Traditional Text Learning? *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.810345>
- Xu, W., & Zammit, K. (2020). Applying Thematic Analysis to Education: A Hybrid Approach to Interpreting Data in Practitioner Research. *International Journal of Qualitative Methods*, 19. <https://doi.org/10.1177/1609406920918810>

- Xu, M., Fralick, D., Zheng, J. Z., Wang, B., Tu, X., & Feng, C. (2017). The Differences and Similarities Between Two-Sample T-Test and Paired T-Test. *PubMed*, 29(3), 184. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.217070>
- Yacoubian, H. A. (2015). A Framework for Guiding Future Citizens to Think Critically About Nature of Science and Socioscientific Issues. *Canadian Journal of Science Mathematics and Technology Education*, 15(3), 248. <https://doi.org/10.1080/14926156.2015.1051671>
- Yamin, Y., Permanasari, A., Redjeki, S., & Sopandi, W. (2019). Profile of students' scientific literacy in application integrated science on the theme of air pollution. *Journal of Physics Conference Series*, 1157, 22032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/2/022032>
- Yang, H., Cai, M., Diao, Y., Liu, R., Лю, Л., & Xiang, Q. (2023). How does interactive virtual reality enhance learning outcomes via emotional experiences? A structural equation modeling approach. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1081372>
- Yang, C., Zhang, J., Hu, Y., Yang, X., Chen, M. H., Shan, M., & Li, L. (2024). The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: a meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00487-2>
- Yaseen, H., Mohammad, A. S., Ashal, N., Abusaimh, H., Ali, A. A. A., & Sharabati, A. A. (2025). The Impact of Adaptive Learning Technologies, Personalized Feedback, and Interactive AI Tools on Student Engagement: The Moderating Role of Digital Literacy. *Sustainability*, 17(3), 1133. <https://doi.org/10.3390/su17031133>
- YILDIRIM, F. S. (2020). The Effect Of The Augmented Reality Applications In Science Class On Students' Cognitive And Emotional Learning. *Journal of Education in Science Environment and Health*. <https://doi.org/10.21891/jeseh.751023>
- Yıldız, E. P. (2021). Augmented Reality Research and Applications in Education. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99356>

Yoon, S. & Anderson, E. & Lin, J. & Elinich, K. (2017). How Augmented Reality Enables Conceptual Understanding of Challenging Science *Content. Educational Technology & Society*. 20. 156.

Yoon, S. A., Chinn, C. A., Noushad, N. F., Richman, T., Hussain-Abidi, H., Hunkar, K., Cottone, A. M., Katz, J. M., Mitkus, E., & Wendel, D. (2023). Seven design principles for teaching complex socioscientific issues: the design of a complex systems agent-based disease epidemic model and the application of epistemic practices in high school biology. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1210153>

Yu, J., Zhuang, Y., Sun, Y., Gao, W., Liu, Q., Cheng, M., Huang, Z., & Chen, E. (2025). TestAgent: An Adaptive and Intelligent Expert for Human Assessment. *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2022*, 724. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.findings-acl.40>

Yue, W. S., Abdullah, Z., Saiful, M., Hussin, H., Kadri, N. A., Obaidellah, U., Nashrul, M., & Zubir, M. N. M. (2021). Influence of Augmented Reality (AR) Technology via Mobile Application for Knowledge Transfer Program in Fourth Industrial Revolution Era. *ASEAN Journal of Community Engagement*, 5(1). <https://doi.org/10.7454/ajce.v5i1.1123>

Yulianti, Y., Wardhani, L. K., Hakim, A. R., Aji, S. D., & Hudha, M. N. (2021). Augmented Reality (AR) subject Natural Science media for human framework topics. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1098(3), 32032. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/3/032032>

Yusoff, M. S. B., Arifin, W. N., & Hadie, S. N. H. (2021). ABC of Questionnaire Development and Validation for Survey Research. *Education in Medicine Journal*, 13(1), 97. <https://doi.org/10.21315/eimj2021.13.1.10>

Zeidler, D. L., Lederman, N. G., & Taylor, S. C. (1992). Fallacies and student discourse: Conceptualizing the role of critical thinking in science education. *Science Education*, 76(4), 437. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760407>

Zenisky, A. L., & Sireci, S. G. (2002). Technological Innovations in Large-Scale Assessment. *Applied Measurement in Education*, 15(4), 337. https://doi.org/10.1207/s15324818ame1504_02

Zhai, J. (2024). The Use of Roblox in Elementary School Science Education during Pandemics. *Open Journal of Social Sciences*, 12(5), 462. <https://doi.org/10.4236/jss.2024.125025>

Zhang, L., Cheng, M., Shi, Y., Li, H., & Xue, Y. (2020). Application and Practice of Augmented Reality Technology in the Design of K-12 Education-assisted products. 403. <https://doi.org/10.1145/3419635.3419701>

Zoller, U. (2015). Research-Based Transformative Science/STEM/STES/STESEP Education for “Sustainability Thinking”: From Teaching to “Know” to Learning to “Think.” *Sustainability*, 7(4), 4474. <https://doi.org/10.3390/su7044474>

Zou, Y. L., Kuek, F., Feng, W., & Cheng, X. (2025). Digital learning in the 21st century: trends, challenges, and innovations in technology integration. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/educ.2025.1562391>

[Οπισθόφυλλο. Κενή σελίδα]