



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Ειδίκευση Καθηγητών Φυσικών Επιστημών

(MSc ΚΦΕ)

Διπλωματική Εργασία

**Η Χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διδασκαλία της
Χημείας**

Μανταντζής Κωνσταντίνος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Κολιαδήμα Αθανασία

Πάτρα, Μάιος 2026

Δήλωση Πνευματικής Ιδιοκτησίας

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κωνσταντίνου Μανταντζή που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Σημείωση: Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Η Χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διδασκαλία της Χημείας

Μανταντζής Κωνσταντίνος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Αθανασία Κολιαδήμα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Πανεπιστημίου Πατρών

Τμήμα Χημείας

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Καπόλος

Καθηγητής Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Τμήμα Επιστήμης και

Τεχνολογίας Τροφίμων

Πάτρα, Μάιος 2026

Στα αντίψια μου,
Δημήτρη και Βασιλική

Περίληψη

Η ραγδαία εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να επηρεάζει ουσιαστικά και τον χώρο της εκπαίδευσης, δημιουργώντας νέες προοπτικές αλλά και νέες προκλήσεις για τους εκπαιδευτικούς (Holmes et al., 2022· Luckin et al., 2019). Η Χημεία, μια επιστήμη που απαιτεί κατανόηση αφηρημένων εννοιών και σύνδεση θεωρίας με πειραματισμό, μπορεί να ωφεληθεί ιδιαίτερα από την αξιοποίηση ευφύων ψηφιακών εργαλείων, αρκεί αυτά να ενταχθούν παιδαγωγικά και μεθοδικά στη μαθησιακή διαδικασία (Taber, 2018).

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τις αντιλήψεις και στάσεις των εκπαιδευτικών Χημείας απέναντι στη χρήση εργαλείων Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (GenAI) στη διδασκαλία, επιχειρώντας παράλληλα να προτείνει έναν πρακτικό τρόπο αξιοποίησής τους μέσα από την ανάπτυξη ενός εκπαιδευτικού σεναρίου Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης. Η έρευνα εντάσσεται στο πλαίσιο της ανάγκης για ανάπτυξη ψηφιακού και τεχνολογικού γραμματισμού των εκπαιδευτικών (Redecker & Punie, 2017) και για ανανέωση των παραδοσιακών προσεγγίσεων στη διδασκαλία της Χημείας (Eilks & Hofstein, 2015).

Η μελέτη βασίστηκε σε ποσοτική μεθοδολογία, με τη χρήση ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε από καθηγητές Χημείας της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Το ερωτηματολόγιο αποτύπωσε τις εμπειρίες, τις στάσεις και τις απόψεις των εκπαιδευτικών σχετικά με τη χρήση Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης στην τάξη, καθώς και τα εμπόδια που αντιμετωπίζουν και τις ανάγκες τους για επιμόρφωση. Τα δεδομένα αναλύθηκαν με περιγραφικές και επαγωγικές στατιστικές μεθόδους (Creswell & Creswell, 2018). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν την GenAI ως πολύτιμο υποστηρικτικό εργαλείο που μπορεί να ενισχύσει τη συμμετοχή των μαθητών και να κάνει τη μάθηση πιο ελκυστική (Zawacki-Richter et al., 2019). Ωστόσο, εκφράζουν επιφυλάξεις σχετικά με την αξιοπιστία των πληροφοριών που παράγονται από τα συστήματα GenAI, την παιδαγωγική τους καταλληλότητα και την ανάγκη ύπαρξης ανθρώπινης καθοδήγησης (Selwyn, 2021).

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση ενός καινοτόμου εκπαιδευτικού σεναρίου για τη διδασκαλία της Χημείας με χρήση GenAI. Μέσα από τη θεωρητική τεκμηρίωση, την ερευνητική ανάλυση και την πρακτική εφαρμογή, επιχειρείται να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα των δυνατοτήτων και των προϋποθέσεων για μια ουσιαστική και παιδαγωγικά

τεκμηριωμένη ενσωμάτωση της GenAI στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών (Kong et al., 2023).

Λέξεις-κλειδιά: Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη, διδασκαλία της Χημείας, στάσεις εκπαιδευτικών, εκπαιδευτικά σενάρια, καινοτόμες διδακτικές πρακτικές, ψηφιακή εκπαίδευση.

Abstract

The rapid advancement of Artificial Intelligence (AI) in recent years has begun to substantially influence the field of education, creating new opportunities as well as new challenges for teachers (Holmes et al., 2022; Luckin et al., 2019). Chemistry, a science that requires the comprehension of abstract concepts and the connection between theory and experimentation, can particularly benefit from the use of intelligent digital tools—provided that these are pedagogically and methodically integrated into the learning process (Taber, 2018).

The present master's thesis explores the perceptions and attitudes of Chemistry teachers toward the use of GenAI tools in teaching, while also proposing a practical way to apply them through the development of an educational scenario incorporating GenAI elements. The research is situated within the broader framework of enhancing teachers' digital and technological literacy (Redecker & Punie, 2017) and renewing traditional approaches to Chemistry education (Eilks & Hofstein, 2015).

The study employed a quantitative research design, using a questionnaire completed by secondary education Chemistry teachers. The questionnaire captured teachers' experiences, attitudes, and opinions regarding GenAI use in the classroom, as well as the barriers they face and their professional development needs. The data were analyzed using descriptive and inferential statistical methods (Creswell & Creswell, 2018).

Findings indicate that most teachers recognize GenAI as a valuable supportive tool that can enhance student engagement and make learning more appealing (Zawacki-Richter et al., 2019). However, they express reservations about the reliability of information generated by GenAI systems, their pedagogical appropriateness, and the necessity of human guidance (Selwyn, 2021).

The thesis concludes with the presentation of an innovative educational scenario for teaching Chemistry with the integration of GenAI. Through theoretical grounding, empirical analysis, and practical application, this study seeks to provide a comprehensive picture of the possibilities

and conditions for the meaningful and pedagogically sound incorporation of GenAI into Science Education (Kong et al., 2023).

Keywords: Artificial Intelligence, Chemistry teaching, teachers' attitudes, educational scenarios, innovative teaching practices, digital education.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 Εκπαίδευση και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) στον 21ο αιώνα	14
1.2 Η AI στο πλαίσιο της STEM εκπαίδευσης.....	16
1.3 Η διδασκαλία της Χημείας και η συμβολή της GenAI.....	17
1.4 Ευκαιρίες, προκλήσεις και λύσεις σχετικά με τη χρήση της AI στη διδασκαλία	19
1.4.1 Οι ευκαιρίες της AI στην εκπαίδευση	19
1.4.2 Οι προκλήσεις και οι κίνδυνοι	20
1.4.3 Προϋποθέσεις για την ηθική και παιδαγωγική αξιοποίηση της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης στην εκπαίδευση	23
Συνολική θεώρηση	26
1.5 Ο ρόλος των πολιτικών εκπαίδευσης στην αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης – Ευρωπαϊκές και ελληνικές στρατηγικές.....	26
1.5.1 Ευρωπαϊκό πλαίσιο πολιτικών και στρατηγικών	27
1.5.2 Ελληνικό πλαίσιο πολιτικών και στρατηγικών.....	28
1.5.3 Προοπτικές και πολιτικές προτεραιότητες	29
1.6 Σκοπός, στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας.....	30
1.7 Συνεισφορά και αναμενόμενα οφέλη της έρευνας.....	31
1.7.1 Θεωρητική συμβολή	31
1.7.2 Ερευνητική συμβολή.....	31
1.7.3 Πρακτική και παιδαγωγική συμβολή	32
1.7.4 Κοινωνική και πολιτισμική αξία	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	33
2.1 Η έννοια και η εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης	33
2.2 Η Τεχνητή Νοημοσύνη στην εκπαίδευση: από την αυτοματοποίηση στη μάθηση	33
2.3 Θεωρίες Μάθησης και Τεχνητή Νοημοσύνη	34
2.3.1 Συμπεριφορισμός: Ενίσχυση, Εξάσκηση και Ανατροφοδότηση	35
2.3.2 Γνωστικισμός: Επεξεργασία Πληροφορίας και Νοητικές Αναπαραστάσεις.....	35
2.3.3 Κονστрукτιβισμός και Κοινωνικοπολιτισμική Μάθηση: Η Γνώση ως Κατασκευή Νοήματος	36
2.3.4 Συνδεσιμότητα (Connectivism): Μάθηση σε Δίκτυα Ανθρώπων και Συστημάτων	37
2.3.5 Θεωρίες Γνωστικού Φορτίου και Πολυμεσικής Μάθησης	37
2.3.7 Καθολικός Σχεδιασμός για Μάθηση (Universal Design for Learning – UDL).....	38

2.4 Μοντέλα ενσωμάτωσης τεχνολογίας: TPACK, SAMR, RAT/PICRAT, DigCompEdu	39
2.4.1 TPACK: ισορροπία τριών γνώσεων.....	39
2.4.2 SAMR: από την υποκατάσταση στον επαναπροσδιορισμό.....	41
2.4.3 RAT και PICRAT: χρησιμότητα και εμπλοκή.....	43
2.4.4 DigCompEdu: Ψηφιακές Ικανότητες Εκπαιδευτικών	45
2.5 Παράδειγμα Πλήρους Μικρο-Σεναρίου (Γ' Λυκείου: «Χημική Ισορροπία»)	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ.....	52
3.1 Εισαγωγή.....	52
.....	53
3.2 Η GenAI στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών.....	53
3.2.1 Εξατομικευμένη και προσαρμοστική μάθηση.....	54
3.2.2 Αναλυτικά μάθησης και εκπαιδευτική εξόρυξη δεδομένων.....	55
3.2.3 Προσομοιώσεις και εικονικά εργαστήρια.....	56
3.2.4 Συνεργατικά περιβάλλοντα μάθησης με GenAI.....	58
3.2.5 Καλλιέργεια δεξιοτήτων Τεχνητή Νοημοσύνη (AI literacy) στις Θετικές Επιστήμες.....	59
3.3 Διεθνή παραδείγματα εφαρμογής της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας.....	60
3.3.1 Ευφυή περιβάλλοντα μάθησης στη Χημεία.....	60
3.3.2 Εικονικά εργαστήρια με GenAI.....	61
3.3.3 Χρήση μεγάλων γλωσσικών μοντέλων (LLMs).....	62
3.3.4 Μοντελοποίηση μορίων και υπολογιστική Χημεία με GenAI.....	63
3.3.5 Αυτόματη αξιολόγηση και ανατροφοδότηση.....	64
3.3.6 Συνοπτικά συμπεράσματα ερευνών 2018–2025.....	65
3.4 Παιδαγωγικές στρατηγικές αξιοποίησης της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας.....	66
3.4.1 Διερευνητική μάθηση με υποστήριξη GenAI.....	66
3.4.2 Ανεστραμμένη τάξη με προσαρμοστικά περιβάλλοντα.....	68
3.4.3 Συνεργατική και κοινωνικοπολιτισμική μάθηση με AI.....	69
3.4.4 Οπτικοποίηση, εννοιολογικοί χάρτες και πολυτροπική μάθηση με GenAI.....	70
3.4.5 Δημιουργική μάθηση και παραγωγή περιεχομένου με GenAI.....	70
3.5 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού και οι στάσεις των καθηγητών Χημείας.....	71
3.5.1 Ο εκπαιδευτικός ως “μετασχηματιστής μάθησης”.....	71
3.5.2 Στάσεις και αντιλήψεις εκπαιδευτικών Χημείας.....	72
3.5.3 Παράγοντες αποδοχής: Το Μοντέλο TAM και η εμπιστοσύνη.....	72
3.5.4 Ανάγκες επιμόρφωσης και επαγγελματική ανάπτυξη.....	72
3.6 Συνθετικό εννοιολογικό μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία της Χημείας.....	73
3.7 Συμπεράσματα κεφαλαίου.....	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	76
4.1 Σκοπός και ερευνητικός σχεδιασμός	76
4.2 Πληθυσμός και δείγμα	77
4.3 Ερευνητικό εργαλείο	77
4.4 Διαδικασία ανάπτυξης και ψυχομετρική αξιολόγηση	79
4.5 Διαδικασία συλλογής δεδομένων.....	79
4.6 Ηθικά ζητήματα.....	80
4.7 Ανάλυση δεδομένων	80
4.8 Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις μετριασμού	81
4.9 Χρονοδιάγραμμα της έρευνας	82
4.10 Σύνδεση με το πρακτικό μέρος	82
4.11 Συνοψίζοντας το κεφάλαιο	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	84
5.1 Εισαγωγή.....	84
5.3 Αξιοπιστία Ερευνητικού Εργαλείου	87
5.4 Περιγραφική Ανάλυση Στάσεων και Αντιλήψεων	88
5.5 Έλεγχος διαφορών ως προς τα δημογραφικά χαρακτηριστικά.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ.....	93
6.1 Σκοπός και παιδαγωγική φιλοσοφία	93
6.2 Πλαίσιο εφαρμογής	93
6.3 Διδακτικοί στόχοι	94
6.4 Σύνδεση με Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών (ΑΠΣ)	94
6.5 Θεωρητική τεκμηρίωση	95
6.6 Εργαλεία και εναλλακτικές	95
6.7 Αναλυτική ροή μαθήματος (3 × 45')	95
6.8 Αξιολόγηση και αναμενόμενα αποτελέσματα.....	97
6.9 Επέκταση και διαφοροποίηση	97
6.10 Συνολική παιδαγωγική αξιολόγηση.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ.....	99
7.1 Σκοπός	99
7.2 Δομή υλικού και Ψηφιακής Παρουσίασης (Micro-lesson)	99
7.3 Παιδαγωγική τεκμηρίωση.....	100
7.4 Αξιολόγηση πολυμέσων	100
7.5 Προοπτικές υλοποίησης.....	100

7.6 Συμπερασματική αποτίμηση.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	102
8.1 Σύνοψη Ερευνητικών Αποτελεσμάτων	102
8.2 Σύνδεση Θεωρίας, Έρευνας και Πράξης	102
8.3 Φιλοσοφικές Προεκτάσεις: Θα αντικαταστήσει η Τεχνητή Νοημοσύνη τον Εκπαιδευτικό; ...	102
8.4 Περιορισμοί της Έρευνας	103
8.5 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Εκπαιδευτική Πολιτική.....	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
Παράρτημα: σύνδεσμος ερωτηματολογίου	111

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ιεραρχική σχέση Τεχνητής Νοημοσύνης, Μηχανικής Μάθησης, Βαθιάς Μάθησης και Generative AI.....	34
Εικόνα 2. Το μοντέλο Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK).	40
Εικόνα 3. Το μοντέλο SAMR για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη μάθηση.	42
Εικόνα 4. Το πλαίσιο ψηφιακών δεξιοτήτων εκπαιδευτικών DigCompEdu.	46
Εικόνα 5. Τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της χημικής γνώσης.	53
Εικόνα 6. Η διαδικασία των learning analytics στην εκπαίδευση.	56
Εικόνα 7. Διαδικασία αξιοποίησης της Generative AI στη μαθησιακή διαδικασία.	67
Εικόνα 8. Κατανομές των απαντήσεων για τις δομικές μεταβλητές του μοντέλου (Χρησιμότητα, Ευκολία, Εγγραμματισμός, Επιφυλάξεις, Άγχος, Προθέσεις). Τα ιστογράμματα συνοδεύονται από την αντίστοιχη καμπύλη εκτίμησης πυκνότητας πυρήνα.	89

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συνολικές παρατηρήσεις μοντέλων ενσωμάτωσης τεχνολογίας.....	49
Πίνακας 2. Βήματα διαδικασίας	50
Πίνακας 3. Ενδεικτικά έργα και τα κύρια μαθησιακά τους οφέλη.	65
Πίνακας 4. Αναλυτικά στάδια έρευνας.	82
Πίνακας 5. Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος (Φύλο και Ηλικία).....	84
Πίνακας 6. Επαγγελματικά χαρακτηριστικά δείγματος	85
Πίνακας 7. Τεχνολογική Υποδομή και Προηγούμενη Επιμόρφωση.....	86
Πίνακας 8. Αξιοπιστία κλιμάκων (Cronbach's α).....	88
Πίνακας 9. Περιγραφικά στατιστικά των βασικών δεικτών	88

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

AI – Artificial Intelligence (Τεχνητή Νοημοσύνη)

ANOVA – Analysis of Variance (Ανάλυση Διακύμανσης)

BYOD – Bring Your Own Device (Χρήση προσωπικών συσκευών από μαθητές)

CFA – Confirmatory Factor Analysis (Επιβεβαιωτική Παραγοντική Ανάλυση)

c-t – Concentration vs Time (Συγκέντρωση–Χρόνος, γραφήματα)

GenAI – Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη (Generative AI)

IMRaD – Introduction, Methods, Results, and Discussion (Εισαγωγή, Μέθοδος, Αποτελέσματα, Συζήτηση)

Kc – Ισορροπία συγκέντρωσης (Συντελεστής Ισορροπίας σε υδατικά διαλύματα)

Kp – Ισορροπία με πίεση (Συντελεστής Ισορροπίας σε μερικές πιέσεις)

LLMs – Large Language Models (Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα)

PICRAT – Presence, Interactivity, Creativity, Reflection, Analysis, Transfer (Μοντέλο αξιολόγησης μαθησιακής δραστηριότητας με τεχνολογία)

Q – Reaction Quotient (Συντελεστής Αντίδρασης για στιγμιαία κατάσταση)

RAT – Remote Assessment Tool (Εργαλείο Απομακρυσμένης Αξιολόγησης)

Rubric – Σύστημα αξιολόγησης με κριτήρια

SAMR – Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition (Μοντέλο ενσωμάτωσης τεχνολογίας στη μάθηση)

TPACK – Technological Pedagogical Content Knowledge (Γνώση Τεχνολογίας–Παιδαγωγικής–Περιεχομένου)

TΠΕ – Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εκπαίδευση και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) στον 21ο αιώνα

Ο 21ος αιώνας χαρακτηρίζεται από βαθιές κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές μεταβολές, οι οποίες αναδιαμορφώνουν σε μεγάλο βαθμό τη φύση της γνώσης και της μάθησης. Η εκπαίδευση, ως θεσμός που αντανακλά και καθοδηγεί την εξέλιξη της κοινωνίας, βρίσκεται σήμερα αντιμέτωπη με προκλήσεις που σχετίζονται με την ψηφιακή μετάβαση, τη διάχυση των τεχνολογιών πληροφορίας, αλλά και τη ραγδαία άνοδο της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) ως αναπόσπαστου στοιχείου του σύγχρονου πολιτισμού (Luckin et al., 2019).

Η AI δεν είναι πλέον ένα θεωρητικό πεδίο των επιστημών υπολογιστών, αλλά μια καθημερινή πραγματικότητα, η οποία διαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο εργαζόμαστε, επικοινωνούμε, σκεφτόμαστε και μαθαίνουμε (Russell & Norvig, 2021). Η ενσωμάτωση αλγοριθμικών και ευφυών συστημάτων σε εφαρμογές που χρησιμοποιούνται καθημερινά – από τις μηχανές αναζήτησης και τις προτάσεις περιεχομένου έως τα προγράμματα συγγραφής, μετάφρασης και δημιουργίας πολυμέσων – σηματοδοτεί μια νέα εποχή για τη γνώση: την εποχή της ευφυούς πληροφορίας (Holmes et al., 2022).

Στην εκπαίδευση, η AI αναγνωρίζεται πλέον ως μετασχηματιστικός παράγοντας που μπορεί να ενισχύσει τη μάθηση και τη διδασκαλία σε πολλαπλά επίπεδα. Οι Holmes, Bialik και Fadel (2022) περιγράφουν την GenAI στην εκπαίδευση ως «μια τεχνολογία που μπορεί να μάθει, να προσαρμόζεται και να αλληλεπιδρά με τους μαθητές σε εξατομικευμένο επίπεδο, προάγοντας μια δυναμική σχέση μεταξύ ανθρώπου και μηχανής».

Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν:

- προσαρμοστικά μαθησιακά περιβάλλοντα (adaptive learning systems), τα οποία αναλύουν τις απαντήσεις του μαθητή και προσαρμόζουν το περιεχόμενο στη δυσκολία του,
- ευφυή συστήματα διδασκαλίας (intelligent tutoring systems), που προσομοιώνουν τη σχέση μαθητή–εκπαιδευτικού παρέχοντας στοχευμένη ανατροφοδότηση,
- συστήματα ανάλυσης μαθησιακών δεδομένων (learning analytics), που επιτρέπουν στον εκπαιδευτικό να παρακολουθεί την πρόοδο και να προβλέπει δυσκολίες,
- και πιο πρόσφατα, γενετικά μοντέλα γλώσσας (generative AI models) όπως το ChatGPT, που προσφέρουν νέες δυνατότητες στην επικοινωνία, τη δημιουργικότητα και την αυτοκατευθυνόμενη μάθηση (Kasneci et al., 2023).

Πέρα από τις τεχνολογικές διαστάσεις, η AI προκαλεί μια βαθύτερη παιδαγωγική και φιλοσοφική συζήτηση για τη φύση της μάθησης. Όπως σημειώνει ο Selwyn (2021), η AI δεν

επηρεάζει μόνο τα εργαλεία που χρησιμοποιεί ο εκπαιδευτικός, αλλά και την έννοια του τι σημαίνει “εκπαιδεύω”. Η μάθηση παύει να είναι μια γραμμική διαδικασία μετάδοσης γνώσης και μετατρέπεται σε δυναμική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε ανθρώπινους και μηχανικούς “νους”.

Ωστόσο, η ΑΙ στην εκπαίδευση δεν είναι πανάκεια. Οι Zawacki-Richter et al. (2019), σε μια συστηματική ανασκόπηση 146 ερευνών, επισημαίνουν ότι τα περισσότερα έργα επικεντρώνονται στις τεχνολογικές πτυχές και λιγότερο στην παιδαγωγική και γνωστική διάσταση της χρήσης της. Αυτό σημαίνει ότι η GenAI δεν μπορεί να υποκαταστήσει τη διδακτική εμπειρία, την κοινωνική αλληλεπίδραση και τη συναισθηματική νοημοσύνη του εκπαιδευτικού — στοιχεία που αποτελούν θεμέλιο της ανθρώπινης μάθησης (Mayer, 2021). Για να ενταχθεί δημιουργικά στην εκπαίδευση, η ΑΙ πρέπει να συνδεθεί με σύγχρονες θεωρίες μάθησης, όπως:

- ο κonstrουκτιβισμός του Piaget και του Vygotsky, που δίνει έμφαση στη μάθηση ως ενεργή κατασκευή γνώσης,
- ο κοινωνικοπολιτισμικός γραμματισμός, που βλέπει τη μάθηση ως κοινωνική πρακτική και συνεργατική διαδικασία,
- και η θεωρία της συνδεσιμότητας (connectivism) του Siemens, που υποστηρίζει ότι η γνώση οικοδομείται μέσα από τη σύνδεση ανθρώπων και συστημάτων (Siemens, 2005).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη, όταν εφαρμόζεται μέσα σε αυτά τα θεωρητικά πλαίσια, μπορεί να ενισχύσει τη δημιουργική, διερευνητική και συνεργατική μάθηση, συμβάλλοντας στη μετάβαση από μια παραδοσιακή, δασκαλοκεντρική εκπαίδευση προς μια μαθητοκεντρική και προσαρμοστική παιδαγωγική (Holmes et al., 2022· Kong et al., 2023). Στο πλαίσιο αυτό, ο εκπαιδευτικός δεν υποκαθίσταται, αλλά ενδυναμώνεται. Η ΑΙ μπορεί να αναλάβει επαναλαμβανόμενα ή διοικητικά καθήκοντα, επιτρέποντας στον εκπαιδευτικό να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών, στην ενσυναίσθηση και στην κριτική σκέψη (Redecker & Punie, 2017). Όπως επισημαίνουν οι Luckin et al. (2019), η GenAI δεν πρέπει να ιδωθεί ως ανταγωνιστής, αλλά ως συνεργάτης του εκπαιδευτικού, που μπορεί να προσφέρει εργαλεία και δεδομένα για στοχασμό, διαφοροποίηση και καινοτομία στη διδασκαλία.

Η πρόκληση, επομένως, δεν είναι η τεχνολογία καθαυτή, αλλά η παιδαγωγική ενσωμάτωσή της. Ο τρόπος με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν την ΑΙ, οι αντιλήψεις τους για τον ρόλο της και η ικανότητά τους να τη συνδυάζουν με παιδαγωγικές στρατηγικές καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το αν θα επιτευχθούν οι προσδοκώμενες μαθησιακές αλλαγές (Mishra & Koehler, 2006; Selwyn, 2021). Έτσι προκύπτει ότι, η εκπαίδευση του 21ου αιώνα δεν μπορεί

να νοηθεί χωρίς την παρουσία της ΑΙ, αλλά ταυτόχρονα η ίδια η ΑΙ χρειάζεται την εκπαίδευση για να αξιοποιηθεί ηθικά, παιδαγωγικά και κοινωνικά υπεύθυνα. Η ενσωμάτωση της ΑΙ στη διδασκαλία δεν είναι απλώς τεχνική καινοτομία· είναι πολιτισμική και παιδαγωγική μεταρρύθμιση, που απαιτεί όραμα, κριτική σκέψη και επαγγελματική ενδυνάμωση των εκπαιδευτικών.

1.2 Η ΑΙ στο πλαίσιο της STEM εκπαίδευσης

Οι Θετικές Επιστήμες (Science, Technology, Engineering and Mathematics – STEM) αποτελούν θεμέλιο της επιστημονικής σκέψης και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η μάθηση σε αυτά τα αντικείμενα βασίζεται στην παρατήρηση, στον πειραματισμό, στη μοντελοποίηση και στην επίλυση προβλημάτων – δραστηριότητες που συνδέονται άμεσα με τη λογική, την ανάλυση και την τεκμηρίωση. Σε αυτό το πλαίσιο, η Τεχνητή Νοημοσύνη (ΑΙ) συνιστά μια νέα “επιστημονική γλώσσα” που μπορεί να υποστηρίξει τη διδασκαλία, την έρευνα και την κατανόηση σύνθετων φαινομένων (Holmes et al., 2022). Η σχέση της ΑΙ με τις Θετικές Επιστήμες είναι διπλή: αφενός, η GenAI αποτελεί εργαλείο για την ερμηνεία δεδομένων και τη μοντελοποίηση φυσικών διεργασιών· αφετέρου, είναι αντικείμενο μελέτης, καθώς η ίδια η επιστημονική κοινότητα ερευνά τους αλγορίθμους, τα δίκτυα και τις υπολογιστικές αρχές που τη διέπουν (Luckin et al., 2019). Έτσι, η ενσωμάτωση της ΑΙ στα μαθήματα STEM δεν περιορίζεται σε τεχνικές χρήσεις, αλλά ανοίγει νέους δρόμους για τη διεπιστημονική και διερευνητική μάθηση (Kong et al., 2023).

Η εκπαιδευτική έρευνα δείχνει ότι οι Θετικές Επιστήμες μπορούν να λειτουργήσουν ως πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη δεξιοτήτων σχετικών με την Τεχνητή Νοημοσύνη: ανάλυση δεδομένων, κριτική αξιολόγηση πληροφοριών, ανάπτυξη αλγοριθμικής σκέψης και κατανόηση μοντέλων (Long & Magerko, 2020). Οι μαθητές που εκτίθενται σε τέτοια περιβάλλοντα μάθησης αναπτύσσουν όχι μόνο γνωστικές δεξιότητες, αλλά και μεταγνωστική επίγνωση για τον τρόπο με τον οποίο η γνώση παράγεται, αξιολογείται και εφαρμόζεται.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της GenAI στα μαθήματα των Θετικών Επιστημών είναι η δυνατότητα προσομοίωσης πολύπλοκων φαινομένων. Μέσω υπολογιστικών μοντέλων, οι μαθητές μπορούν να “πειραματιστούν” με μεταβλητές, να παρατηρήσουν αποτελέσματα και να επαληθεύσουν υποθέσεις με τρόπο που θα ήταν ανέφικτος στο σχολικό εργαστήριο. Οι προσομοιώσεις αυτές υποστηρίζουν την κατανόηση εννοιών που σχετίζονται με τη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία και τη μηχανική (Makransky et al., 2020). Παράλληλα, η ΑΙ συμβάλλει στην ανάπτυξη υπολογιστικής σκέψης (computational thinking), δηλαδή της ικανότητας να

επιλύονται προβλήματα μέσα από τη μοντελοποίηση, την ανάλυση και τη χρήση αλγορίθμων (Wing, 2006). Η UNESCO (2022) υπογραμμίζει ότι η εκπαίδευση στην ΑΙ πρέπει να συνδυάζεται με τις Θετικές Επιστήμες, ώστε οι μαθητές να κατανοούν τόσο τις εφαρμογές όσο και τις κοινωνικές επιπτώσεις της.

Πέρα από τη γνωστική διάσταση, η ΑΙ μπορεί να ενισχύσει τη συνεργατική και βιωματική μάθηση στις Θετικές Επιστήμες. Μέσω “έξυπνων” περιβαλλόντων, οι μαθητές μπορούν να συνεργάζονται διαδικτυακά σε κοινά έργα, να μοιράζονται δεδομένα και να αξιοποιούν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο (Holmes et al., 2022). Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση βοηθά στη δημιουργία κοινοτήτων μάθησης που βασίζονται στη διερεύνηση, στην αναστοχαστική πρακτική και στην ανάπτυξη επιστημονικού διαλόγου. Κατά συνέπεια, η διδασκαλία των Θετικών Επιστημών μπορεί να αποτελέσει το πεδίο όπου η ΑΙ όχι μόνο υποστηρίζει τη μάθηση, αλλά και επαναπροσδιορίζει τη φύση της επιστημονικής εκπαίδευσης. Μέσα από τη στοχευμένη και παιδαγωγικά τεκμηριωμένη αξιοποίηση της GenAI, οι μαθητές μεταβαίνουν από τη θεωρητική κατανόηση στη δημιουργία, την ανακάλυψη και την καινοτομία, αναπτύσσοντας δεξιότητες έρευνας, κριτικής σκέψης και επίλυσης προβλημάτων που είναι ουσιώδεις για τη συμμετοχή τους σε έναν κόσμο που διαρκώς εξελίσσεται τεχνολογικά και επιστημονικά. Συνοψίζοντας, η ΑΙ λειτουργεί στο STEM ως εργαλείο μοντελοποίησης/ανάλυσης αλλά και ως αντικείμενο μελέτης, ανοίγοντας δρόμους για διεπιστημονική και διερευνητική μάθηση. Η μεταφορά σε συγκεκριμένα διδακτικά παραδείγματα παρουσιάζεται για τη Χημεία στο Κεφ. 1.4.

1.3 Η διδασκαλία της Χημείας και η συμβολή της GenAI

Η Χημεία είναι μια από τις πιο σύνθετες και απαιτητικές επιστήμες για διδασκαλία, καθώς συνδυάζει αφηρημένες έννοιες, μαθηματικές σχέσεις και πειραματικές διαδικασίες. Οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη σχέση ανάμεσα σε μακροσκοπικά φαινόμενα (όπως οι χημικές αντιδράσεις) και τις μικροσκοπικές διεργασίες που τα προκαλούν (ατομική δομή, δεσμοί, ενέργεια). Η γνωστική απόσταση μεταξύ θεωρίας και εμπειρίας καθιστά τη Χημεία ένα μάθημα που απαιτεί ειδικές διδακτικές στρατηγικές (Taber, 2018). Παραδοσιακά, η διδασκαλία της Χημείας επικεντρωνόταν στην απομνημόνευση τύπων και στην αναπαραγωγή γνώσης, συχνά εις βάρος της εννοιολογικής κατανόησης (Eilks & Hofstein, 2015). Ωστόσο, η σύγχρονη διδακτική της Χημείας δίνει έμφαση σε διερευνητικές, πειραματικές και συμμετοχικές μορφές μάθησης, όπου ο μαθητής δρα ως ερευνητής και κατασκευαστής νοήματος. Η GenAI μπορεί

να ενισχύσει αυτήν την προσέγγιση, παρέχοντας δυνατότητες προσωποποίησης, οπτικοποίησης και αυτορρύθμισης της μάθησης.

Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη της AI στη διδασκαλία της Χημείας είναι η δυνατότητα προσομοίωσης χημικών διεργασιών. Μέσω εργαλείων όπως το Labster ή το ChemCollective, οι μαθητές μπορούν να πραγματοποιούν εικονικά πειράματα, να χειρίζονται ουσίες και να παρατηρούν αντιδράσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον, χωρίς κινδύνους ή περιορισμούς υλικών (Makransky et al., 2020). Τα εικονικά εργαστήρια αυτά επιτρέπουν στους μαθητές να πειραματίζονται ενεργά, να ελέγχουν υποθέσεις και να μαθαίνουν μέσα από τα λάθη τους — κάτι που συνάδει με τις αρχές του κονστрукτιβισμού και της ενεργητικής μάθησης (Vygotsky, 1978).

Επιπλέον, η GenAI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή του περιεχομένου στις ανάγκες του μαθητή. Τα ευφυή συστήματα μπορούν να αναγνωρίζουν τις αδυναμίες του και να προτείνουν στοχευμένες δραστηριότητες ή επαναλήψεις. Παράλληλα, μέσω τεχνολογιών επεξεργασίας φυσικής γλώσσας, όπως το ChatGPT, οι μαθητές μπορούν να υποβάλλουν ερωτήσεις, να ζητούν διευκρινίσεις και να λαμβάνουν εξατομικευμένες εξηγήσεις για έννοιες που δυσκολεύονται να κατανοήσουν (Kasneci et al., 2023).

Η διδασκαλία της Χημείας μπορεί να ωφεληθεί επίσης από τη χρήση GenAI για οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών. Τα γραφικά περιβάλλοντα και οι δυναμικές απεικονίσεις βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν χωρικές και δομικές σχέσεις, όπως τη διάταξη των ατόμων σε ένα μόριο ή την πορεία μιας αντίδρασης. Αυτή η οπτική διάσταση είναι καθοριστική, διότι, όπως δείχνουν έρευνες, η δυσκολία πολλών μαθητών στη Χημεία σχετίζεται με την αδυναμία τους να “δει” νοερά τις μικροσκοπικές δομές (Taber, 2018).

Εξίσου σημαντική είναι η παιδαγωγική χρήση πολυμεσικού υλικού, όπως εκπαιδευτικά βίντεο με ενσωματωμένα στοιχεία GenAI. Τα βίντεο μπορούν να καθοδηγούν τον μαθητή, να προσαρμόζονται στο επίπεδό του και να ενσωματώνουν διαδραστικά στοιχεία αξιολόγησης. Όπως επισημαίνει ο Mayer (2021), η πολυμεσική μάθηση μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν συνδυάζει κείμενο, εικόνα και ήχο με τρόπο που προάγει την ενεργό επεξεργασία της πληροφορίας.

Η συμβολή της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας δεν περιορίζεται στο επίπεδο των εργαλείων. Αγγίζει τον ίδιο τον παιδαγωγικό σχεδιασμό: δίνει τη δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να δημιουργούν εξατομικευμένα μαθησιακά μονοπάτια, να συνδέουν τη Χημεία με καθημερινές εμπειρίες και να καλλιεργούν δεξιότητες όπως η επίλυση προβλημάτων, η δημιουργικότητα και η συνεργασία (Holmes et al., 2022). Η GenAI μπορεί

επίσης να αξιοποιηθεί για την αυτόματη ανάλυση μαθησιακών δεδομένων, επιτρέποντας στον εκπαιδευτικό να αναγνωρίζει δυσκολίες, να παρακολουθεί την πρόοδο και να παρέχει στοχευμένη υποστήριξη. Με αυτόν τον τρόπο, η διδασκαλία μετατρέπεται σε μια δυναμική διαδικασία προσαρμογής, όπου η ανατροφοδότηση και η διαφοροποίηση καθίστανται βασικές παιδαγωγικές αρχές (Redecker & Punie, 2017). Η GenAI μπορεί να λειτουργήσει ως δυναμικός διαμεσολαβητής μεταξύ των τριών επιπέδων αναπαράστασης της Χημείας: του μακροσκοπικού, του μικροσκοπικού και του συμβολικού. Για παράδειγμα, ένα εργαλείο Παραγωγικής TN μπορεί να μετατρέψει μια χημική εξίσωση (συμβολικό επίπεδο) σε μια οπτικοποιημένη κίνηση σωματιδίων (μικροσκοπικό επίπεδο), βοηθώντας τον μαθητή να "δει" την κίνηση Brown ή τη διάταξη των ατόμων που η στατική εικόνα του βιβλίου αδυνατεί να αποδώσει.

Συνολικά, η ενσωμάτωση της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας συμβάλλει στη μετατόπιση του εκπαιδευτικού παραδείγματος από τη διδασκαλία βασισμένη στη μετάδοση γνώσης προς τη μάθηση βασισμένη στη διερεύνηση, την αλληλεπίδραση και τη δημιουργία. Ο εκπαιδευτικός δεν χάνει τον ρόλο του· αντιθέτως, αποκτά ένα νέο ρόλο ως σχεδιαστής εμπειριών μάθησης και καθοδηγητής νοήματος σε ένα περιβάλλον όπου η γνώση συντίθεται από κοινού με την Τεχνητή Νοημοσύνη.

1.4 Ευκαιρίες, προκλήσεις και λύσεις σχετικά με τη χρήση της AI στη διδασκαλία

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στην εκπαιδευτική διαδικασία αποτελεί ένα από τα πλέον ενδιαφέροντα και συνάμα περίπλοκα εγχειρήματα της σύγχρονης παιδαγωγικής πραγματικότητας. Η AI υπόσχεται να μεταμορφώσει τη διδασκαλία, να ενισχύσει τη μάθηση και να δημιουργήσει νέες μορφές εκπαιδευτικής εμπειρίας. Ωστόσο, αυτή η υπόσχεση συνοδεύεται από σημαντικές παιδαγωγικές, τεχνολογικές, ηθικές και κοινωνικές προκλήσεις, που καθιστούν απαραίτητη μια κριτική και στοχαστική προσέγγιση (Selwyn, 2021).

1.4.1 Οι ευκαιρίες της AI στην εκπαίδευση

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1.1, η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) προσφέρει νέες δυνατότητες εξατομίκευσης της μάθησης και ενίσχυσης της συμμετοχής των μαθητών. Πέρα από τη θεωρητική διάσταση, οι εφαρμογές αυτές έχουν ήδη λάβει πρακτική μορφή μέσα από μια σειρά ψηφιακών εργαλείων και συστημάτων που χρησιμοποιούνται διεθνώς στην εκπαίδευση.

Τα ευφυή μαθησιακά περιβάλλοντα (Intelligent Tutoring Systems – ITS), όπως τα ALEKS και Smart Sparrow, αξιοποιούν αλγορίθμους για να προσαρμόζουν το μαθησιακό περιεχόμενο στις ανάγκες κάθε μαθητή, προσφέροντας προσωποποιημένη ανατροφοδότηση και δυναμική πορεία μάθησης (VanLehn, 2011). Αντίστοιχα, πλατφόρμες όπως το Century Tech και το Squirrel AI χρησιμοποιούν τεχνικές ανάλυσης δεδομένων (learning analytics) για να εντοπίζουν τα σημεία δυσκολίας και να προτείνουν εξατομικευμένες δραστηριότητες.

Στην εκπαίδευση των Θετικών Επιστημών, η AI αξιοποιείται για τη δημιουργία προσομοιώσεων και εικονικών εργαστηρίων, τα οποία επιτρέπουν στους μαθητές να πειραματιστούν με ασφάλεια και να κατανοήσουν αφηρημένες έννοιες μέσα από αλληλεπίδραση. Ενδεικτικά, το Labster και το ChemCollective προσφέρουν εικονικά πειράματα στη Χημεία, δίνοντας τη δυνατότητα για ενεργή και βιωματική μάθηση (Makransky et al., 2020).

Επιπλέον, η AI συμβάλλει στην ενίσχυση της δημιουργικότητας και της συνεργατικής μάθησης. Εργαλεία παραγωγής περιεχομένου με στοιχεία GenAI, όπως τα ChatGPT, Canva Magic Studio ή Copilot, μπορούν να υποστηρίξουν τους μαθητές στη συγγραφή, στην επίλυση προβλημάτων ή στη δημιουργία οπτικοποιημένων παρουσιάσεων. Η χρήση τους, όταν καθοδηγείται παιδαγωγικά, καλλιεργεί δεξιότητες κριτικής σκέψης, επικοινωνίας και αυτορρύθμισης της μάθησης (Redecker & Punie, 2017).

Τέλος, οι τεχνολογίες GenAI μπορούν να ανακουφίσουν τον εκπαιδευτικό από διοικητικές διαδικασίες — όπως η αυτόματη αξιολόγηση, η οργάνωση προόδου ή η παραγωγή υλικού — επιτρέποντάς του να επικεντρωθεί στη δημιουργική, κοινωνική και συναισθηματική διάσταση της διδασκαλίας (Holmes et al., 2022). Η αξιοποίηση της GenAI, επομένως, δεν αντικαθιστά τον εκπαιδευτικό, αλλά τον ενδυναμώνει, λειτουργώντας ως σύμμαχος και επιταχυντής παιδαγωγικής καινοτομίας.

1.4.2 Οι προκλήσεις και οι κίνδυνοι

Παρά τις τεράστιες δυνατότητες και τις ευκαιρίες που προσφέρει η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) στη μαθησιακή διαδικασία, η εφαρμογή της στην εκπαίδευση εγείρει σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με τη φύση της διδασκαλίας, την ανθρώπινη διάσταση της μάθησης και τη σχέση ανθρώπου–μηχανής. Οι προκλήσεις αυτές δεν είναι μονοδιάστατες, αλλά πολυεπίπεδες και αλληλοσυνδεόμενες. Μπορούν ωστόσο να ταξινομηθούν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: παιδαγωγικές, δεοντολογικές, κοινωνικές και τεχνολογικές.

α) Παιδαγωγικές προκλήσεις

Η σημαντικότερη παιδαγωγική πρόκληση αφορά τη διατήρηση της ανθρώπινης διάστασης της εκπαίδευσης. Η διδασκαλία δεν είναι μια απλή διαδικασία μετάδοσης πληροφοριών· είναι μια πράξη σχέσης, ενσυναίσθησης και διαμεσολάβησης μεταξύ γνώσης και εμπειρίας. Όπως υποστηρίζει ο Selwyn (2021), καμία μορφή τεχνητής νοημοσύνης, όσο εξελιγμένη κι αν είναι, δεν μπορεί να αναπαραγάγει τη συναισθηματική νοημοσύνη, την ηθική κρίση και την ανθρωποκεντρική παιδαγωγική ευαισθησία που χαρακτηρίζει τον εκπαιδευτικό. Ο κίνδυνος που ελλοχεύει είναι η σταδιακή «τεχνοκρατικοποίηση» της εκπαίδευσης, δηλαδή η μετατροπή της μαθησιακής διαδικασίας σε μηχανιστική διαχείριση δεδομένων και αλγορίθμων, όπου η ανθρώπινη αλληλεπίδραση παραμερίζεται. Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της παιδαγωγικής αυθεντικότητας, όπου οι μαθητές παύουν να βιώνουν τη μάθηση ως κοινωνική και συναισθηματική εμπειρία.

Επιπλέον, η υπερβολική εξάρτηση από την ΑΙ ενέχει τον κίνδυνο της γνωστικής παθητικοποίησης. Όταν οι μαθητές συνηθίζουν να λαμβάνουν άμεσες απαντήσεις και λύσεις από ευφυή συστήματα, ενδέχεται να μειωθεί η κριτική τους ικανότητα, η δημιουργικότητα και η ικανότητα αυτορρύθμισης της μάθησης. Όπως επισημαίνει ο Mayer (2021), η ΑΙ πρέπει να λειτουργεί ως υποστηρικτικό εργαλείο μάθησης (scaffolding tool), που ενισχύει τη σκέψη και τη διερεύνηση, και όχι ως υποκατάστατο της ανθρώπινης γνωστικής δραστηριότητας.

Επομένως, η παιδαγωγική πρόκληση έγκειται στη διαμόρφωση ενός ισορροπημένου μαθησιακού περιβάλλοντος, όπου η ΑΙ υποβοηθά, αλλά δεν κυριαρχεί. Ο εκπαιδευτικός οφείλει να καθοδηγεί τη χρήση της τεχνολογίας με κριτικό και αναστοχαστικό τρόπο, διασφαλίζοντας ότι η μάθηση παραμένει μια ανθρωποκεντρική, βιωματική και κοινωνικά συνδεδεμένη διαδικασία.

β) Δεοντολογικές προκλήσεις

Η ΑΙ λειτουργεί με βάση τη συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (data-driven education). Αυτή η εξάρτηση από τα δεδομένα γεννά σημαντικά ζητήματα ιδιωτικότητας, ασφάλειας και διαφάνειας. Όπως επισημαίνουν οι Holmes et al. (2022), η εκπαιδευτική κοινότητα καλείται να απαντήσει σε κρίσιμα ερωτήματα:

- Ποιος έχει πρόσβαση στα μαθητικά δεδομένα;
- Πώς εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η ανωνυμία των προσωπικών πληροφοριών;

- Με ποιον τρόπο ελέγχεται ότι οι αλγόριθμοι δεν ενσωματώνουν προκαταλήψεις (bias) ή δεν οδηγούν σε άδικες κατηγοριοποιήσεις;

Η αδιαφάνεια των αλγοριθμικών διαδικασιών καθιστά δύσκολη την ανίχνευση πιθανών μεροληψιών, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την αξιολόγηση των μαθητών ή τη λήψη εκπαιδευτικών αποφάσεων. Η UNESCO (2022) προειδοποιεί ότι όταν οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται σε δεδομένα που δεν αντιπροσωπεύουν όλες τις κοινωνικές ομάδες, δημιουργούνται «αλγοριθμικές προκαταλήψεις» που ενδέχεται να ενισχύσουν τις κοινωνικές ανισότητες.

Επιπλέον, τίθενται ζητήματα δεοντολογικής ευθύνης και λογοδοσίας. Αν ένα σύστημα AI προτείνει εσφαλμένη εκπαιδευτική στρατηγική ή κάνει ανακριβείς προβλέψεις για την επίδοση ενός μαθητή, ποιος φέρει την ευθύνη; Ο δημιουργός του λογισμικού, ο εκπαιδευτικός ή ο φορέας που το υιοθέτησε; Η ανάγκη για διαφανείς, ελεγκτικούς μηχανισμούς και για σαφή κανονιστικά πλαίσια προστασίας προσωπικών δεδομένων είναι επιτακτική, ιδιαίτερα όταν η AI εφαρμόζεται σε ευαίσθητους τομείς όπως η εκπαίδευση.

γ) Κοινωνικές προκλήσεις

Η ενσωμάτωση της AI μπορεί να εντείνει τις κοινωνικές και ψηφιακές ανισότητες. Σε πολλές περιπτώσεις, τα σχολεία διαφέρουν σημαντικά ως προς τις τεχνολογικές υποδομές, τη διαθεσιμότητα πόρων και την επιμόρφωση του προσωπικού. Οι μαθητές που προέρχονται από μειονεκτικά κοινωνικοοικονομικά περιβάλλοντα έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε τεχνολογικά μέσα, γεγονός που δημιουργεί ένα νέο «ψηφιακό χάσμα», το οποίο ενδέχεται να εξελιχθεί σε «παιδαγωγικό χάσμα» (Luckin et al., 2019).

Η άνιση πρόσβαση δεν αφορά μόνο τα υλικά μέσα αλλά και τη δεξιότητα αξιοποίησης των τεχνολογιών. Οι εκπαιδευτικοί που δεν διαθέτουν επαρκή τεχνολογική κατάρτιση ενδέχεται να αποφεύγουν ή να χρησιμοποιούν λανθασμένα τα εργαλεία GenAI, με αποτέλεσμα η καινοτομία να παραμένει ανενεργή. Αν δεν υπάρξει οργανωμένη πολιτική επιμόρφωσης, η GenAI κινδυνεύει να ενισχύσει αντί να μειώσει τις εκπαιδευτικές ανισότητες.

Επιπλέον, η κοινωνική πρόκληση επεκτείνεται και σε ζητήματα πολιτισμικής προσαρμογής. Πολλά συστήματα GenAI έχουν αναπτυχθεί σε αγγλόφωνο ή δυτικοευρωπαϊκό πλαίσιο και δεν λαμβάνουν υπόψη πολιτισμικές ιδιαιτερότητες, γλωσσικές διαφοροποιήσεις ή εκπαιδευτικές κουλτούρες. Η απουσία τέτοιας προσαρμογής μπορεί να οδηγήσει σε εκπαιδευτική αποξένωση ή σε πολιτισμική ομογενοποίηση της διδασκαλίας.

δ) Τεχνολογικές προκλήσεις

Οι τεχνολογικές προκλήσεις συνδέονται με τη διαλειτουργικότητα, την αξιοπιστία και την καταλληλότητα των συστημάτων AI για εκπαιδευτική χρήση. Πολλά εμπορικά λογισμικά αναπτύσσονται με οικονομικά και επιχειρηματικά κριτήρια, χωρίς να στηρίζονται σε παιδαγωγικές αρχές ή επιστημονικά τεκμηριωμένες μεθοδολογίες (Holmes et al., 2022). Αυτό καθιστά απαραίτητη τη διαρκή αξιολόγηση και παιδαγωγική προσαρμογή των εργαλείων AI προτού υιοθετηθούν στην εκπαιδευτική πράξη.

Ένα ακόμη ζήτημα είναι η τεχνολογική βιωσιμότητα και ασφάλεια. Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα συστήματα που χρησιμοποιούν ενημερώνονται τακτικά, προστατεύονται από κυβερνοεπιθέσεις και συμμορφώνονται με τις αρχές του γενικού κανονισμού προστασίας δεδομένων (GDPR). Παράλληλα, χρειάζεται να αντιμετωπιστεί η πρόκληση της τεχνολογικής εξάρτησης: όταν η εκπαιδευτική διαδικασία εξαρτάται υπερβολικά από ένα σύστημα AI, οποιαδήποτε δυσλειτουργία μπορεί να επηρεάσει άμεσα τη μάθηση.

Συνολικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί δίκικο εργαλείο για την εκπαίδευση. Μπορεί είτε να ενισχύσει είτε να υπονομεύσει τη μάθηση — ανάλογα με το πώς, από ποιον και για ποιο σκοπό χρησιμοποιείται. Η ενσωμάτωσή της στις Θετικές Επιστήμες και γενικότερα στην εκπαίδευση πρέπει να διέπεται από σαφές παιδαγωγικό πλαίσιο, ηθική επίγνωση και κοινωνική ευαισθησία. Μόνο όταν οι εκπαιδευτικοί, οι φορείς και οι σχεδιαστές πολιτικής συνεργάζονται με γνώμονα τον άνθρωπο και τη μάθηση, η GenAI μπορεί να λειτουργήσει ως πραγματικός σύμμαχος της εκπαιδευτικής καινοτομίας και όχι ως απειλή για την ουσία της παιδείας.

1.4.3 Προϋποθέσεις για την ηθική και παιδαγωγική αξιοποίηση της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης στην εκπαίδευση

Η αποτελεσματική και υπεύθυνη ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στο εκπαιδευτικό πλαίσιο προϋποθέτει τη διαμόρφωση σαφών παιδαγωγικών, ηθικών και θεσμικών πλαισίων, ώστε η χρήση της να υπηρετεί πρωτίστως τον ανθρωποκεντρικό σκοπό της εκπαίδευσης και όχι την τεχνολογική αυταξία. Όπως τονίζει η UNESCO (2023), η GenAI μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο προώθησης της ισότητας και της ποιότητας της εκπαίδευσης, μόνο όταν εντάσσεται σε πλαίσια που διέπονται από κριτικό, ηθικά ευαίσθητο και παιδαγωγικά τεκμηριωμένο σχεδιασμό. Οι βασικές προϋποθέσεις για την ορθή αξιοποίηση της GenAI μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε βασικούς άξονες: (α) παιδαγωγική ενσωμάτωση, (β) επιμόρφωση και επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών, (γ) ηθική και

κανονιστική συμμόρφωση, (δ) κοινωνική ισότητα και προσβασιμότητα, (ε) συμμετοχική και αναστοχαστική κουλτούρα.

α) Παιδαγωγική ενσωμάτωση

Πρωταρχική προϋπόθεση είναι η παιδαγωγική θεμελίωση της χρήσης της GenAI. Η τεχνολογία δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως αυτοσκοπός, αλλά να εντάσσεται στην υπηρεσία των διδακτικών στόχων και της ανάπτυξης των μαθητών (Luckin et al., 2019). Κάθε τεχνολογική καινοτομία έχει αξία μόνο όταν συμβάλλει στη βελτίωση της διδασκαλίας, της μάθησης και της γνωστικής ανάπτυξης, μέσα από ενεργητικές, διερευνητικές και συνεργατικές μορφές μάθησης.

Η παιδαγωγική ενσωμάτωση της GenAI μπορεί να καθοδηγείται από θεωρητικά πλαίσια όπως το TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) των Mishra και Koehler (2006), που αναδεικνύει τη σημασία του συνδυασμού τεχνολογικής, παιδαγωγικής και γνωστικής γνώσης, καθώς και το μοντέλο SAMR (Substitution–Augmentation–Modification–Redefinition) του Puentedura (2010), το οποίο περιγράφει τα στάδια μετασχηματισμού της διδασκαλίας μέσω τεχνολογίας.

Η επιλογή εργαλείων GenAI πρέπει να γίνεται βάσει παιδαγωγικών και γνωστικών κριτηρίων. Ο εκπαιδευτικός οφείλει να εξετάζει αν το εργαλείο ενισχύει τη συμμετοχική, βιωματική και κριτική μάθηση (Mayer, 2021), καθώς και αν προάγει την ανάπτυξη δεξιοτήτων όπως η δημιουργικότητα, η μεταγνωστική επίγνωση και η αυτορρύθμιση της μάθησης.

β) Επιμόρφωση και επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών

Καμία τεχνολογική καινοτομία δεν μπορεί να αποδώσει χωρίς κατάλληλα προετοιμασμένους εκπαιδευτικούς. Οι Holmes et al. (2022) υπογραμμίζουν ότι η GenAI εισάγει νέες απαιτήσεις σε επίπεδο γνώσεων και δεξιοτήτων, που υπερβαίνουν την παραδοσιακή ψηφιακή επάρκεια. Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να αναπτύξουν AI literacy, δηλαδή την ικανότητα κατανόησης των αρχών λειτουργίας, των περιορισμών και των ηθικών διαστάσεων της GenAI.

Η επιμόρφωση πρέπει να είναι συνεχής, βιωματική και διαθεματική, συνδυάζοντας τεχνικές γνώσεις με παιδαγωγική κριτική (Luckin et al., 2019). Δεν αρκεί η εκμάθηση της χρήσης των εργαλείων· απαιτείται η ανάπτυξη κριτικού αναστοχασμού, ώστε ο εκπαιδευτικός να μπορεί να αξιολογεί τη συνάφεια των τεχνολογιών με τους μαθησιακούς στόχους, να εντοπίζει πιθανά προβλήματα προκατάληψης στα δεδομένα και να προσαρμόζει τη διδασκαλία ανάλογα με το προφίλ των μαθητών.

Στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, όπου τα προγράμματα επιμόρφωσης στην GenAI είναι ακόμη περιορισμένα, η δημιουργία θεσμοθετημένων δομών επιμόρφωσης και επαγγελματικής ανάπτυξης αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση (Καψάλης & Χαραλάμπους, 2021). Η ανάπτυξη μιας AI-TRACK κουλτούρας (συνδυασμός παιδαγωγικής και τεχνητής νοημοσύνης γνώσης) θα επιτρέψει στους εκπαιδευτικούς να μετατραπούν σε δημιουργικούς σχεδιαστές μαθησιακών εμπειριών και όχι σε απλούς χρήστες εργαλείων.

γ) Ηθική και κανονιστική συμμόρφωση

Η δεοντολογία της AI αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της υπεύθυνης ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στην εκπαίδευση. Η χρήση ευφών συστημάτων συνεπάγεται τη συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, με αποτέλεσμα να τίθενται ζητήματα ιδιωτικότητας, ασφάλειας και λογοδοσίας (Holmes et al., 2022). Η συμμόρφωση με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR) και τις κατευθυντήριες οδηγίες της UNESCO (2022) είναι απαραίτητη για την προστασία των μαθητών και των εκπαιδευτικών. Οι εκπαιδευτικοί οργανισμοί οφείλουν να διαμορφώνουν πολιτικές διαχείρισης δεδομένων, ενημερώνοντας όλους τους εμπλεκόμενους για το είδος των πληροφοριών που συλλέγονται, τον σκοπό χρήσης και τους μηχανισμούς διαγραφής ή διόρθωσης.

Πέρα από τη νομική διάσταση, απαιτείται και ηθική καλλιέργεια των μαθητών. Οι μαθητές πρέπει να εκπαιδεύονται στην ψηφιακή ενσυνειδητότητα και στον κριτικό εγγραμματισμό στην AI, κατανοώντας ότι οι αλγόριθμοι δεν είναι ουδέτεροι αλλά διαμορφώνονται από ανθρώπινες επιλογές, αξίες και προκαταλήψεις (Selwyn, 2021). Έτσι, η εκπαίδευση δεν περιορίζεται στη χρήση της AI αλλά επεκτείνεται στη διαμόρφωση ηθικά ευαίσθητων και κοινωνικά υπεύθυνων πολιτών.

δ) Κοινωνική ισότητα και προσβασιμότητα

Η ισότιμη πρόσβαση στην GenAI αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη δίκαιη και βιώσιμη ενσωμάτωσή της στην εκπαίδευση. Όπως σημειώνουν οι Luckin et al. (2019), οι ανισότητες στις τεχνολογικές υποδομές, στην επιμόρφωση και στη χρηματοδότηση των σχολείων μπορούν να οδηγήσουν σε ψηφιακό χάσμα, το οποίο γρήγορα μετατρέπεται σε παιδαγωγικό χάσμα.

Η πολιτεία και οι εκπαιδευτικοί φορείς οφείλουν να διασφαλίσουν ότι όλα τα σχολεία διαθέτουν πρόσβαση σε επαρκείς υποδομές, τεχνική υποστήριξη και κατάλληλο επιμορφωτικό υλικό. Παράλληλα, η ανάπτυξη ανοικτών, μη εμπορικών εφαρμογών GenAI μπορεί να συμβάλει στη μείωση των ανισοτήτων.

Εξίσου σημαντική είναι η πολιτισμική προσβασιμότητα. Οι εφαρμογές GenAI πρέπει να λαμβάνουν υπόψη γλωσσικές και πολιτισμικές διαφοροποιήσεις, ώστε να αποφευχθεί η επιβολή ενός ενιαίου δυτικοκεντρικού προτύπου μάθησης. Η UNESCO (2023) προειδοποιεί ότι η έλλειψη πολιτισμικής αντιπροσωπευτικότητας στα δεδομένα μπορεί να ενισχύσει τις κοινωνικές αποκλίσεις και να υπονομεύσει τη συμπερίληψη.

ε) Συμμετοχική και αναστοχαστική κουλτούρα

Η ενσωμάτωση της GenAI στην εκπαίδευση δεν είναι μια τεχνική διαδικασία, αλλά μια πολιτισμική αλλαγή που απαιτεί συμμετοχή, συνεργασία και συνεχή αναστοχασμό. Οι εκπαιδευτικοί, οι μαθητές, οι γονείς και οι φορείς χάραξης πολιτικής πρέπει να λειτουργούν ως συνεργατική κοινότητα μάθησης (Holmes et al., 2022), συζητώντας τα οφέλη, τα όρια και τις επιπτώσεις της τεχνολογίας. Η δημιουργία δομών ανατροφοδότησης και αξιολόγησης σε επίπεδο σχολικής μονάδας μπορεί να βοηθήσει στη συλλογική λήψη αποφάσεων και στη συνεχή βελτίωση των πρακτικών. Ο αναστοχασμός γύρω από τις παιδαγωγικές και ηθικές διαστάσεις της GenAI ενισχύει την επαγγελματική αυτογνωσία των εκπαιδευτικών και καλλιεργεί μια κουλτούρα συνυπευθυνότητας και κριτικού διαλόγου.

Συνολική θεώρηση

Η ηθική και παιδαγωγική αξιοποίηση της GenAI δεν είναι απλώς ζήτημα τεχνολογικής επάρκειας, αλλά θέμα εκπαιδευτικής φιλοσοφίας. Προϋποθέτει έναν νέο ανθρωποκεντρικό εκπαιδευτικό ανθρωπισμό, όπου η τεχνολογία υπηρετεί την ανάπτυξη της ανθρώπινης δημιουργικότητας, ενσυναίσθησης και ηθικής κρίσης. Όπως επισημαίνει η UNESCO (2023), η εκπαίδευση του μέλλοντος δεν πρέπει να είναι απλώς «τεχνολογικά εξελιγμένη», αλλά ανθρώπινα ευφυής, δηλαδή ικανή να συνδυάζει την τεχνητή και την ανθρώπινη νοημοσύνη σε ένα πλαίσιο αξιών, υπευθυνότητας και κοινωνικής δικαιοσύνης. Μόνο έτσι η GenAI μπορεί να αποτελέσει πραγματικό εργαλείο εκπαιδευτικού μετασχηματισμού και όχι παράγοντα αποξένωσης ή ανισότητας.

1.5 Ο ρόλος των πολιτικών εκπαίδευσης στην αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης – Ευρωπαϊκές και ελληνικές στρατηγικές

Η ανάπτυξη και αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στην εκπαίδευση δεν είναι απλώς τεχνολογικό ζήτημα, αλλά αποτελεί στρατηγική πολιτική επιλογή που επηρεάζει το μέλλον της

μάθησης, της απασχόλησης και της κοινωνικής συνοχής στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και στην Ελλάδα. Η ενσωμάτωση της ΑΙ στα εκπαιδευτικά συστήματα απαιτεί ολοκληρωμένες δημόσιες πολιτικές, που συνδυάζουν τεχνολογική καινοτομία, παιδαγωγική ανανέωση, θεσμική υποστήριξη και ηθική λογοδοσία (European Commission, 2021). Η χάραξη τέτοιων πολιτικών είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι η ΑΙ χρησιμοποιείται με τρόπο ισότιμο, υπεύθυνο και συμπεριληπτικό, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων και στην ενίσχυση του ανθρώπινου δυναμικού για την κοινωνία του 21ου αιώνα.

1.5.1 Ευρωπαϊκό πλαίσιο πολιτικών και στρατηγικών

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζει ότι η ΑΙ αποτελεί κεντρικό πυλώνα της ψηφιακής και εκπαιδευτικής μετάβασης. Από το 2018, με την Ανακοίνωση “*Artificial Intelligence for Europe*” (European Commission, 2018), τέθηκε το θεμέλιο για τη δημιουργία ενός κοινού πλαισίου ανάπτυξης της GenAI, το οποίο δίνει έμφαση στην ανθρώπινη διάσταση, στην ηθική χρήση των δεδομένων και στη διασφάλιση κοινωνικής δικαιοσύνης.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ε.Ε. υιοθέτησε το 2021 το Ψηφιακό Σχέδιο Δράσης για την Εκπαίδευση 2021–2027 (Digital Education Action Plan), το οποίο επιδιώκει τη δημιουργία ενός ευρωπαϊκού οικοσυστήματος ψηφιακής εκπαίδευσης και την ενίσχυση των ψηφιακών ικανοτήτων των πολιτών (European Commission, 2021). Το σχέδιο αυτό περιλαμβάνει δύο βασικούς πυλώνες:

1. Προώθηση ενός ισχυρού εκπαιδευτικού οικοσυστήματος ψηφιακών υποδομών, που να υποστηρίζει την ισότιμη πρόσβαση στην τεχνολογία.
2. Ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων και παιδείας, με ιδιαίτερη έμφαση στην κριτική κατανόηση της ΑΙ και των επιπτώσεών της.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μέσω του Σχεδίου για την Ψηφιακή Δεκαετία 2030 (Digital Decade Policy Programme), έθεσε ως στόχο μέχρι το 2030 το 80% των πολιτών της Ε.Ε. να διαθέτουν βασικές ψηφιακές δεξιότητες, και το 20% των εκπαιδευτικών να έχουν προηγμένες ψηφιακές ικανότητες, συμπεριλαμβανομένης της AI Literacy (European Commission, 2023). Στο ίδιο πλαίσιο, το Joint Research Centre (JRC) της Ε.Ε. έχει αναπτύξει το DigCompEdu Framework (Redecker, 2017), ένα μοντέλο αναφοράς για τις ψηφιακές ικανότητες των εκπαιδευτικών. Το πλαίσιο αυτό ενσωματώνει πλέον δεξιότητες που σχετίζονται με την κατανόηση και αξιοποίηση της ΑΙ για παιδαγωγικούς σκοπούς, ενθαρρύνοντας τους εκπαιδευτικούς να αναπτύσσουν κριτική στάση απέναντι στην τεχνολογία.

Παράλληλα, η UNESCO (2022) και ο ΟΟΣΑ (OECD, 2021) προωθούν τη συνεργασία των κρατών-μελών για τη διαμόρφωση ηθικών κατευθυντήριων γραμμών, τη ρύθμιση των δεδομένων και την εκπαίδευση των πολιτών στον κριτικό εγγραμματισμό της ΑΙ (AI literacy). Στόχος των πολιτικών αυτών είναι να εξασφαλιστεί ότι η ΑΙ θα χρησιμοποιείται με τρόπο δίκαιο, υπεύθυνο και ανθρωποκεντρικό, αποφεύγοντας φαινόμενα αλγοριθμικής προκατάληψης ή ψηφιακού αποκλεισμού. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η Πράξη για την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI Act), που υιοθετήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το 2024. Ο νόμος αυτός καθιερώνει το πρώτο δεσμευτικό νομικό πλαίσιο παγκοσμίως για τη ρύθμιση των εφαρμογών GenAI, με στόχο την προστασία των θεμελιωδών δικαιωμάτων, τη διαφάνεια των αλγορίθμων και την υπεύθυνη χρήση της ΑΙ στην εκπαίδευση, στην υγεία και στη δημόσια διοίκηση (European Parliament, 2024).

Μέσα από αυτές τις πρωτοβουλίες, η Ε.Ε. επιδιώκει να δημιουργήσει ένα μοντέλο “Ανθρωποκεντρικής ΑΙ” (Human-Centred AI), το οποίο δίνει προτεραιότητα στη δημοκρατική λογοδοσία, την εκπαιδευτική ισότητα και την ενδυνάμωση του εκπαιδευτικού προσωπικού (European Commission, 2021; UNESCO, 2023).

1.5.2 Ελληνικό πλαίσιο πολιτικών και στρατηγικών

Στην Ελλάδα, η πολιτική για την GenAI στην εκπαίδευση εντάσσεται ευρύτερα στον Ψηφιακό Μετασχηματισμό της Εκπαίδευσης και στις πρωτοβουλίες της Εθνικής Στρατηγικής για την Τεχνητή Νοημοσύνη (2021), που καταρτίστηκε από το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης (ΥΨΔ, 2021). Το σχέδιο αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της εκπαίδευσης, επιμόρφωσης και ανάπτυξης ανθρώπινου δυναμικού ως προϋπόθεσης για την αξιοποίηση της ΑΙ. Η Εθνική Ψηφιακή Στρατηγική 2020–2025 στοχεύει στη δημιουργία ψηφιακά ώριμων σχολείων, μέσω της αναβάθμισης των υποδομών, της εισαγωγής εργαλείων ΑΙ στη διδασκαλία και της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών στις νέες τεχνολογίες (Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων, 2022). Στο πλαίσιο αυτό εντάσσονται προγράμματα όπως:

- “Ψηφιακό Σχολείο” και “Ψηφιακή Εκπαίδευση 2.0”, που προωθούν τη χρήση διαδραστικών περιβαλλόντων μάθησης και ευφύων εκπαιδευτικών συστημάτων.
- Τα Εργαστήρια Δεξιοτήτων (από το 2021), τα οποία εισάγουν θεματικές ενότητες σχετικές με την Τεχνητή Νοημοσύνη, τον ψηφιακό γραμματισμό και την ηθική της τεχνολογίας σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης.

- Η επιμόρφωση εκπαιδευτικών μέσω του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής (ΙΕΠ) και του προγράμματος “Ανοιχτά Σχολεία στην Ψηφιακή Εποχή”, που στοχεύει στην ενδυνάμωση των ψηφιακών και παιδαγωγικών δεξιοτήτων.

Παρά τις σημαντικές αυτές πρωτοβουλίες, προκλήσεις παραμένουν, όπως η ανισομερής πρόσβαση σε τεχνολογικές υποδομές μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών, η έλλειψη θεσμοθετημένης επιμόρφωσης στην GenAI, και η ανάγκη διαμόρφωσης ενός εθνικού πλαισίου ηθικής χρήσης της AI στην εκπαίδευση (Καψάλης & Χαραλάμπους, 2021).

Η αξιοποίηση της AI στην Ελλάδα πρέπει να συνδυάζεται με τη διασφάλιση της εκπαιδευτικής ισότητας και με πολιτικές υποστήριξης των εκπαιδευτικών, ώστε να αποφευχθεί η τεχνολογική αποξένωση. Η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ Υπουργείου Παιδείας, πανεπιστημίων, ερευνητικών φορέων και σχολικών μονάδων είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός βιώσιμου οικοσυστήματος καινοτομίας που θα προάγει την παιδαγωγική αξιοποίηση της GenAI.

1.5.3 Προοπτικές και πολιτικές προτεραιότητες

Η σύγχρονη εκπαιδευτική πολιτική καλείται να κινηθεί πέρα από την ψηφιακή ενσωμάτωση και να επιδιώξει τον κριτικό και ηθικό μετασχηματισμό της εκπαίδευσης μέσω της AI. Για να συμβεί αυτό, απαιτείται:

1. Ενίσχυση της εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών στην AI και στα ηθικά ζητήματα που απορρέουν από τη χρήση της.
2. Θεσμοθέτηση εθνικού πλαισίου ηθικής χρήσης της AI, σε εναρμόνιση με τον AI Act και τις κατευθυντήριες γραμμές της UNESCO (2022, 2023).
3. Προώθηση της διασύνδεσης εκπαίδευσης–έρευνας–καινοτομίας, ώστε η GenAI να χρησιμοποιείται για τη δημιουργία νέας γνώσης και όχι απλώς για αυτοματοποίηση.
4. Ανάπτυξη μηχανισμών αξιολόγησης και λογοδοσίας για τα εκπαιδευτικά συστήματα GenAI, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια και την προστασία των δεδομένων.

Η συνέργεια εθνικών και ευρωπαϊκών πολιτικών είναι κρίσιμη για να δημιουργηθεί μια ενιαία εκπαιδευτική στρατηγική για την AI, που θα ενδυναμώνει τους εκπαιδευτικούς, θα εξασφαλίζει ισότητα και θα διαμορφώνει ενεργούς, κριτικά σκεπτόμενους πολίτες. Όπως υπογραμμίζει ο ΟΟΣΑ (OECD, 2021), το μέλλον της εκπαίδευσης δεν εξαρτάται από την ίδια την τεχνολογία, αλλά από το πώς οι κοινωνίες επιλέγουν να τη χρησιμοποιήσουν.

1.6 Σκοπός, στόχοι και ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει να διερευνήσει τον ρόλο και τις δυνατότητες της GenAI ως επιμέρους κατηγορία της AI στη διδασκαλία της Χημείας, εστιάζοντας στις στάσεις, αντιλήψεις και εμπειρίες των εκπαιδευτικών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Ο σκοπός δεν είναι μόνο να αναδειχθούν οι τεχνικές ή λειτουργικές πλευρές της AI, αλλά και να εξεταστεί πώς αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί παιδαγωγικά, ώστε να ενισχύσει την ενεργητική, διερευνητική και δημιουργική μάθηση.

Γενικός σκοπός

Να διερευνηθεί πώς η AI και ειδικότερα η GenAI μπορεί να αξιοποιηθεί στη διδασκαλία της Χημείας με τρόπο που να ενισχύει τη μάθηση, να υποστηρίζει τον εκπαιδευτικό και να προωθεί την καινοτομία στην εκπαιδευτική πράξη.

Ειδικοί στόχοι

1. Καταγραφή στάσεων και αντιλήψεων των εκπαιδευτικών Χημείας σχετικά με τη χρήση GenAI στην εκπαιδευτική διαδικασία.
2. Ανάδειξη παραγόντων που ευνοούν ή εμποδίζουν την ενσωμάτωση της GenAI στη διδασκαλία.
3. Ανίχνευση των αναγκών επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών για την αξιοποίηση της GenAI.
4. Εντοπισμός κατάλληλων εργαλείων GenAI που μπορούν να ενισχύσουν τη διδασκαλία της Χημείας (π.χ. προσομοιώσεις, έξυπνα λογισμικά, εφαρμογές επεξεργασίας φυσικής γλώσσας).
5. Σχεδίαση και παρουσίαση ενός εκπαιδευτικού σεναρίου Χημείας με χρήση GenAI, που θα συνοδεύεται από τη δημιουργία ενός εκπαιδευτικού βίντεο.

Ερευνητικά ερωτήματα

1. Ποιες είναι οι στάσεις και οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών Χημείας απέναντι στην GenAI;
2. Ποιες ευκαιρίες και δυσκολίες αντιλαμβάνονται ως προς την ενσωμάτωση της GenAI στη διδασκαλία;

3. Ποιοι παράγοντες (π.χ. φύλο, ηλικία, εμπειρία, επιμόρφωση) επηρεάζουν τις στάσεις τους;
4. Ποια εργαλεία GenAI θεωρούν οι εκπαιδευτικοί καταλληλότερα για την υποστήριξη της διδασκαλίας της Χημείας;
5. Πώς μπορεί να σχεδιαστεί ένα παιδαγωγικά τεκμηριωμένο σενάριο διδασκαλίας που να αξιοποιεί αποτελεσματικά την GenAI;
6. Πώς μπορούν τα πολυμέσα και η παραγωγή εκπαιδευτικού βίντεο να υποστηρίξουν τη μάθηση μέσω GenAI;
7. Με ποιον τρόπο η χρήση εκπαιδευτικού βίντεο με στοιχεία GenAI μπορεί να προετοιμάσει τους μαθητές για τη μετάβαση από το εικονικό στο πραγματικό σχολικό εργαστήριο Χημείας;

Τα παραπάνω ερωτήματα αποσκοπούν όχι μόνο στη διαπίστωση γνώσεων ή στάσεων, αλλά και στην κατανόηση των προϋποθέσεων που θα επιτρέψουν την ουσιαστική παιδαγωγική αξιοποίηση της GenAI στη Χημεία.

1.7 Συνεισφορά και αναμενόμενα οφέλη της έρευνας

Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να συνεισφέρει τόσο στην επιστημονική βιβλιογραφία όσο και στην εκπαιδευτική πρακτική.

1.7.1 Θεωρητική συμβολή

Σε θεωρητικό επίπεδο, η εργασία επιδιώκει να συνθέσει το πεδίο της GenAI με τη διδακτική των Θετικών Επιστημών, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο κατανόησης της σχέσης ανάμεσα στην τεχνολογία, την παιδαγωγική και τη μάθηση. Η μελέτη αναδεικνύει τα βασικά μοντέλα (TPACK, SAMR, DigCompEdu) και συνδέει τη θεωρία με την πράξη μέσα από το παράδειγμα της Χημείας. Επιπλέον, εμπλουτίζει τη σχετικά περιορισμένη ελληνική βιβλιογραφία γύρω από την GenAI στην εκπαίδευση, προσφέροντας πρωτογενή δεδομένα από το ελληνικό εκπαιδευτικό πλαίσιο.

1.7.2 Ερευνητική συμβολή

Σε ερευνητικό επίπεδο, η μελέτη παρέχει ποσοτικά δεδομένα για τις στάσεις των Ελλήνων εκπαιδευτικών Χημείας απέναντι στην GenAI, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σε μεταγενέστερες έρευνες ή πολιτικές επιμόρφωσης. Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε

μπορεί να αποτελέσει εργαλείο μέτρησης στάσεων και δεξιοτήτων GenAI σε μελλοντικές μελέτες.

1.7.3 Πρακτική και παιδαγωγική συμβολή

Πρακτικά, η εργασία παρουσιάζει ένα εκπαιδευτικό σενάριο που ενσωματώνει εργαλεία GenAI και ένα εκπαιδευτικό βίντεο ως συνοδευτικό υλικό. Αυτά αποτελούν πρότυπο παιδαγωγικής εφαρμογής, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί στην πράξη από εκπαιδευτικούς της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Η ανάπτυξη τέτοιου υλικού ενισχύει τον ψηφιακό και παιδαγωγικό γραμματισμό των εκπαιδευτικών, καλλιεργεί δεξιότητες σχεδίασης ψηφιακού μαθήματος και συμβάλλει στην επαγγελματική τους ενδυνάμωση.

1.7.4 Κοινωνική και πολιτισμική αξία

Η έρευνα μπορεί να λειτουργήσει ως αφετηρία για έναν ευρύτερο κοινωνικό διάλογο γύρω από τη χρήση της AI στην ελληνική εκπαίδευση. Σε μια εποχή όπου οι τεχνολογίες αλλάζουν ραγδαία, είναι κρίσιμο να τεθούν ζητήματα δεοντολογίας, προσβασιμότητας και ισότητας. Η μελέτη μπορεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξη πολιτικών ένταξης της AI στα σχολεία, με επίκεντρο τον μαθητή και τις αξίες της δημοκρατικής παιδείας.

Τελικά, η συμβολή της παρούσας διπλωματικής έγκειται στο ότι συνδέει την καινοτομία με την παιδαγωγική, τη θεωρία με την πράξη και τη τεχνολογία με τον άνθρωπο. Με αυτόν τον τρόπο, φιλοδοξεί να προσφέρει ένα ολιστικό παράδειγμα εφαρμογής της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας, που θα μπορούσε να εμπνεύσει μελλοντικές πρακτικές, ερευνητικά έργα και εκπαιδευτικές πολιτικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 Η έννοια και η εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) είναι ένας κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που επιδιώκει να κατασκευάσει μηχανές ικανές να εκτελούν καθήκοντα που απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη. Ο όρος “Artificial Intelligence” εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1956 στο συνέδριο του Dartmouth, με κύριους εισηγητές τους John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon και Herbert Simon (Russell & Norvig, 2021).

Από τότε μέχρι σήμερα, η AI έχει εξελιχθεί από θεωρητικό πεδίο έρευνας σε πραγματικό τεχνολογικό πυλώνα της σύγχρονης κοινωνίας. Οι εφαρμογές της εκτείνονται από την ιατρική διάγνωση και τη ρομποτική μέχρι την εκπαίδευση, την τέχνη και τη δημιουργική βιομηχανία (Holmes et al., 2022).

Η εξέλιξη της AI μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές φάσεις:

1. Η “κλασική” ή συμβολική περίοδος (1950–1980), που βασιζόταν σε λογικά συστήματα κανόνων (rule-based systems).
2. Η εποχή της μηχανικής μάθησης (1980–2010), όπου οι μηχανές άρχισαν να μαθαίνουν από δεδομένα μέσω αλγορίθμων.
3. Η σύγχρονη εποχή της βαθιάς μάθησης (deep learning), που βασίζεται σε νευρωνικά δίκτυα και μεγάλα σύνολα δεδομένων (LeCun, Bengio & Hinton, 2015).

Η σύγχρονη AI χωρίζεται συχνά σε δύο τύπους:

- Ασθενής TN (narrow AI): συστήματα σχεδιασμένα να εκτελούν συγκεκριμένα καθήκοντα, όπως αναγνώριση φωνής ή εικόνας.
- Ισχυρή TN (strong AI): θεωρητική έννοια που αφορά μηχανές με ανθρώπινη συνείδηση και αυτονομία σκέψης (Russell & Norvig, 2021).

Στο πλαίσιο της εκπαίδευσης, η Τεχνητή Νοημοσύνη που χρησιμοποιείται είναι ασθενής, με εφαρμογές όπως προσαρμοστικά μαθησιακά συστήματα, εκπαιδευτικοί πράκτορες, αναλύσεις μάθησης (learning analytics), αυτόματη αξιολόγηση και επεξεργασία φυσικής γλώσσας.

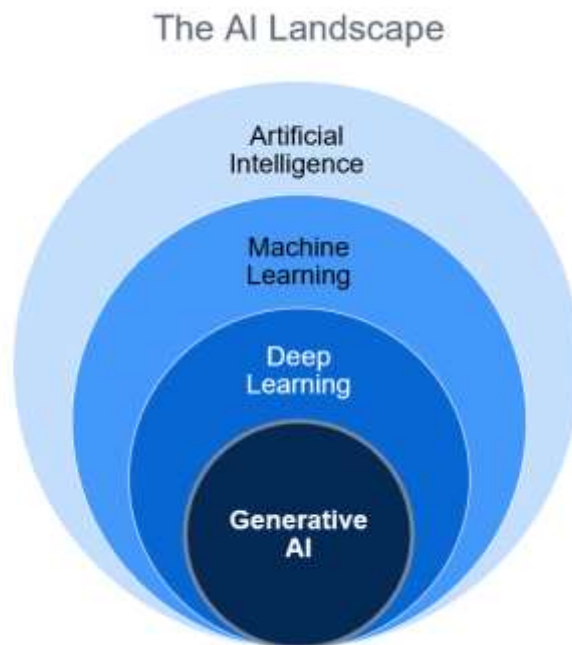
2.2 Η Τεχνητή Νοημοσύνη στην εκπαίδευση: από την αυτοματοποίηση στη μάθηση

Η αξιοποίηση της AI στην εκπαίδευση δεν είναι νέα ιδέα, αλλά οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις την έχουν καταστήσει πιο προσβάσιμη και ισχυρή από ποτέ.

Αρχικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη χρησιμοποιήθηκε για αυτόματη αξιολόγηση και εξατομικευμένη διδασκαλία μέσω συστημάτων όπως τα Intelligent Tutoring Systems (ITS) (Woolf, 2010). Αυτά τα συστήματα λειτουργούν ως ψηφιακοί διδάσκαλοι που προσαρμόζουν το περιεχόμενο με βάση τη συμπεριφορά και την επίδοση του μαθητή.

Σήμερα, η ΑΙ υποστηρίζει ένα πολύ ευρύτερο φάσμα λειτουργιών:

- Adaptive learning – εξατομικευμένες μαθησιακές διαδρομές.
- Learning analytics – παρακολούθηση της προόδου και διάγνωση δυσκολιών.
- Natural Language Processing (NLP) – αλληλεπίδραση σε φυσική γλώσσα μέσω “chatbots”.
- Predictive analytics – πρόβλεψη επιδόσεων και μαθησιακών αναγκών.
- Generative AI (π.χ. ChatGPT) – παραγωγή κειμένων, ασκήσεων, παραδειγμάτων και επεξηγήσεων.



Εικόνα 1. Ιεραρχική σχέση Τεχνητής Νοημοσύνης, Μηχανικής Μάθησης, Βαθιάς Μάθησης και Generative AI.

Πηγή: Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

2.3 Θεωρίες Μάθησης και Τεχνητή Νοημοσύνη

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΑΙ) στην εκπαίδευση καθίσταται ουσιαστική μόνο όταν στηρίζεται σε ένα σαφές και επιστημονικά θεμελιωμένο παιδαγωγικό υπόβαθρο. Η απλή αξιοποίηση εργαλείων GenAI χωρίς σύνδεση με θεωρίες μάθησης εγκυμονεί τον κίνδυνο τεχνοκεντρικών προσεγγίσεων που αγνοούν τον μαθησιακό και κοινωνικό χαρακτήρα της

εκπαίδευσης (Holmes et al., 2022). Η παιδαγωγική θεμελίωση επιτρέπει την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα συστήματα ΑΙ μπορούν να ενισχύσουν, να καθοδηγήσουν ή να μετασχηματίσουν τη μαθησιακή διαδικασία, ειδικά στη διδασκαλία της Χημείας, όπου η κατανόηση αφηρημένων και πολυεπίπεδων εννοιών προϋποθέτει ενεργό γνωστική επεξεργασία και οπτικοποίηση.

Η ΑΙ δεν αποτελεί αυτόνομο παιδαγωγικό παράγοντα· αντιθέτως, λειτουργεί ως γνωστικό και τεχνολογικό εργαλείο, το οποίο δύναται να ενσωματωθεί σε διαφορετικά θεωρητικά πλαίσια. Παρακάτω εξετάζονται οι βασικές θεωρίες μάθησης – ο συμπεριφορισμός, ο γνωστικισμός, ο κονστрукτιβισμός, η συνδεσιμότητα, οι θεωρίες γνωστικού φορτίου και πολυμεσικής μάθησης, η αυτορρυθμιζόμενη μάθηση και ο καθολικός σχεδιασμός για μάθηση – υπό το πρίσμα της συμβολής της ΑΙ στη διδασκαλία της Χημείας.

2.3.1 Συμπεριφορισμός: Ενίσχυση, Εξάσκηση και Ανατροφοδότηση

Ο συμπεριφορισμός, που θεμελιώθηκε από τον Skinner, αντιλαμβάνεται τη μάθηση ως αποτέλεσμα σύνδεσης ερεθίσματος και απόκρισης, μέσω ενίσχυσης ή τιμωρίας (Skinner, 1954). Στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας, ο συμπεριφορισμός συνδέεται με δραστηριότητες επανάληψης και εξάσκησης, όπως η εξισορρόπηση χημικών εξισώσεων ή η αναγνώριση στοιχείων του περιοδικού πίνακα. Η ΑΙ αξιοποιεί αυτή τη λογική μέσω έξυπνων περιβαλλόντων μάθησης (intelligent tutoring systems) και συστημάτων αυτόματης αξιολόγησης, τα οποία παρέχουν άμεση ανατροφοδότηση, προσαρμόζουν το επίπεδο δυσκολίας και ενισχύουν την επιθυμητή συμπεριφορά (Woolf, 2010). Τέτοια συστήματα μπορούν να εντοπίζουν λάθη, να προσφέρουν διορθωτικές παρεμβάσεις και να ενισχύουν τη σωστή απάντηση, προάγοντας την εκμάθηση βασικών δεξιοτήτων ρουτίνας.

Ωστόσο, ο αποκλειστικός προσανατολισμός σε συμπεριφοριστικά μοντέλα ενέχει τον κίνδυνο υπεραπλούστευσης και παθητικής μάθησης, περιορίζοντας την ανάπτυξη αναλυτικής σκέψης και εννοιολογικής κατανόησης (Mayer, 2021). Συνεπώς, η ΑΙ θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως εργαλείο ενίσχυσης βασικών δεξιοτήτων, και όχι ως αποκλειστικός φορέας της μαθησιακής διαδικασίας.

2.3.2 Γνωστικισμός: Επεξεργασία Πληροφορίας και Νοητικές Αναπαραστάσεις

Ο γνωστικισμός μετατόπισε την εστίαση της εκπαιδευτικής θεωρίας από την εξωτερική συμπεριφορά στις εσωτερικές νοητικές διεργασίες, όπως η μνήμη, η προσοχή και η επεξεργασία πληροφοριών (Sweller, 1988). Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η μάθηση

επιτυγχάνεται μέσω της οικοδόμησης και οργάνωσης νοητικών αναπαραστάσεων. Στη διδασκαλία της Χημείας, όπου οι μαθητές πρέπει να συνδέσουν μακροσκοπικά φαινόμενα με μικροσκοπικά και συμβολικά επίπεδα (π.χ. αντιδράσεις, μόρια, χημικοί τύποι), η ΑΙ μπορεί να υποστηρίξει τη γνωστική οργάνωση μέσω προσαρμοστικών οπτικοποιήσεων, έξυπνων περιλήψεων και συστημάτων υποστήριξης νοητικών χαρτών (Taber, 2018).

Για παράδειγμα, ένα σύστημα ΑΙ μπορεί να δημιουργεί αυτόματα πολλαπλές αναπαραστάσεις μιας χημικής διεργασίας, να επισημαίνει σχέσεις μεταξύ εννοιών ή να προσαρμόζει τον ρυθμό παρουσίασης βάσει του γνωστικού φορτίου κάθε μαθητή (Mayer, 2021). Με τον τρόπο αυτό, η ΑΙ λειτουργεί ως νοητικός βοηθός, που οργανώνει και καθοδηγεί τη γνωστική επεξεργασία, επιτρέποντας στους μαθητές να αναπτύξουν βαθύτερη κατανόηση αντί απλής απομνημόνευσης.

2.3.3 Κονστρουκτιβισμός και Κοινωνικοπολιτισμική Μάθηση: Η Γνώση ως Κατασκευή Νοήματος

Ο κονστρουκτιβισμός αντιλαμβάνεται τη μάθηση ως ενεργή κατασκευή νοήματος από τον ίδιο τον μαθητή, μέσα από τη διερεύνηση, τον αναστοχασμό και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον (Piaget, 1972). Ο Vygotsky (1978) ενίσχυσε αυτή τη θεωρία εισάγοντας τη ζώνη επικείμενης ανάπτυξης (ΖΕΑ) και τον ρόλο του κοινωνικού διαμεσολαβητή, επισημαίνοντας ότι η μάθηση είναι πρωτίστως κοινωνική διεργασία. Η ΑΙ, μέσα από προσαρμοστικά περιβάλλοντα διερεύνησης και εικονικά εργαστήρια, μπορεί να λειτουργήσει ως γνωστικός συνεργάτης που ενισχύει την κονστρουκτιβιστική μάθηση (De Jong & van Joolingen, 1998). Στη Χημεία, όπου οι μαθητές συχνά αδυνατούν να πειραματιστούν με πραγματικά αντιδραστήρια, τα εικονικά εργαστήρια GenAI προσφέρουν ασφαλή πλαίσια διερεύνησης και δοκιμής υποθέσεων. Παράλληλα, συστήματα ΑΙ μπορούν να προτείνουν εναλλακτικές ερμηνείες χημικών φαινομένων ή να παρέχουν καθοδηγητικά σχόλια που ενθαρρύνουν τον αναστοχασμό (Kong et al., 2023).

Η αλληλεπίδραση μαθητή–GenAI αποκτά έτσι διαλογικό χαρακτήρα, όπου η τεχνολογία δεν υποκαθιστά τον εκπαιδευτικό, αλλά λειτουργεί συμπληρωματικά ως μέσο καθοδήγησης και ενίσχυσης της μαθησιακής εμπειρίας (Ράπτης & Ράπτη, 2020).

2.3.4 Συνδεσιμότητα (Connectivism): Μάθηση σε Δίκτυα Ανθρώπων και Συστημάτων

Η θεωρία της συνδεσιμότητας (Siemens, 2005) ανταποκρίνεται στην εποχή της ψηφιακής πληροφορίας, ερμηνεύοντας τη μάθηση ως διαδικασία δημιουργίας και πλοήγησης σε δίκτυα γνώσης. Η GenAI, στο πλαίσιο αυτό, αντιμετωπίζεται ως ένας ακόμη κόμβος στο δίκτυο της μάθησης, ικανός να φιλτράρει, να συνθέτει και να προσωποποιεί πληροφορίες.

Στη διδασκαλία της Χημείας, όπου οι μαθητές συχνά καλούνται να εντοπίσουν, να αξιολογήσουν και να συνδέσουν πληροφορίες από διαφορετικές πηγές (επιστημονικές βάσεις δεδομένων, πολυμεσικό περιεχόμενο, προσομοιώσεις), τα εργαλεία GenAI μπορούν να υποστηρίξουν την επιλεκτική αναζήτηση και οργάνωση γνώσης, δημιουργώντας εξατομικευμένες ροές μάθησης (Luckin et al., 2019).

Ωστόσο, η αποτελεσματική αξιοποίηση αυτής της συνδεσιμότητας απαιτεί ανάπτυξη ψηφιακού και κριτικού γραμματισμού, ώστε οι μαθητές να είναι σε θέση να αξιολογούν την αξιοπιστία των πληροφοριών και να διακρίνουν ανάμεσα σε επιστημονικά έγκυρα δεδομένα και σε παραπλανητικό περιεχόμενο (Selwyn, 2021). Η GenAI, αν και μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε πλούσιες πηγές γνώσης, ενδέχεται επίσης να αναπαράγει προκαταλήψεις ή ελλιπή δεδομένα αν δεν καθοδηγηθεί παιδαγωγικά.

2.3.5 Θεωρίες Γνωστικού Φορτίου και Πολυμεσικής Μάθησης

Η θεωρία του γνωστικού φορτίου (Cognitive Load Theory) του Sweller (1988) και η θεωρία πολυμεσικής μάθησης του Mayer (2021) εστιάζουν στη βελτιστοποίηση του τρόπου παρουσίασης πληροφοριών, ώστε να μην υπερφορτώνεται η μνήμη εργασίας του μαθητή. Αυτές οι θεωρίες προσφέρουν συγκεκριμένες αρχές σχεδιασμού, όπως η τμηματοποίηση του περιεχομένου, η αποφυγή περιττών ερεθισμάτων και η συν-τοποθέτηση κειμένου και εικόνας. Η AI μπορεί να εφαρμόσει αυτές τις αρχές δυναμικά, προσαρμόζοντας την παρουσίαση του υλικού ανάλογα με το γνωστικό επίπεδο του μαθητή.

Για παράδειγμα, σε ένα μάθημα Χημείας, η AI μπορεί να αναλύει την απόδοση του μαθητή σε προβλήματα ισορροπίας ή οξειδοαναγωγής και να προσαρμόζει το περιεχόμενο, μειώνοντας το γνωστικό φορτίο όταν εντοπίζονται δυσκολίες. Παράλληλα, μπορεί να παρέχει πολυμεσικές αναπαραστάσεις με κείμενο, ήχο και κινούμενα γραφήματα, βελτιώνοντας τη μνήμη και τη νοητική επεξεργασία. Η σωστή αξιοποίηση της AI βάσει αυτών των θεωριών εξασφαλίζει ότι η τεχνολογία υποστηρίζει τη γνωστική οικονομία του μαθητή, διευκολύνοντας την αφομοίωση περίπλοκων εννοιών όπως η ενέργεια δεσμών ή οι θερμοδυναμικές διεργασίες.

2.3.6 Αυτορρυθμιζόμενη Μάθηση (Self-Regulated Learning) και Μεταγνώση

Η αυτορρυθμιζόμενη μάθηση (Zimmerman, 2002) περιγράφει την ικανότητα του μαθητή να θέτει στόχους, να παρακολουθεί την πρόοδό του και να αναπροσαρμόζει τις στρατηγικές του βάσει μεταγνωστικής επίγνωσης. Η ΑΙ μπορεί να υποστηρίξει αυτή τη διαδικασία μέσα από εξατομικευμένα μαθησιακά περιβάλλοντα που προσφέρουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο, υπενθυμίσεις στόχων, ημερολόγια προόδου και μεταγνωστικά «νύγματα» (Ifenthaler & Yau, 2020).

Σε ένα μάθημα Χημείας, οι μαθητές μπορούν να παρακολουθούν τη δική τους πρόοδο σε θεματικές όπως οι αντιδράσεις ή η θερμοδυναμική, ενώ το σύστημα ΑΙ αναλύει τα λάθη, εντοπίζει επαναλαμβανόμενες παρανοήσεις και προτείνει στρατηγικές βελτίωσης. Με αυτόν τον τρόπο, η ΑΙ καλλιεργεί μαθησιακή αυτονομία και ενισχύει τη μεταγνωστική επίγνωση, στοιχεία κρίσιμα για τη δια βίου μάθηση.

2.3.7 Καθολικός Σχεδιασμός για Μάθηση (Universal Design for Learning – UDL)

Ο Καθολικός Σχεδιασμός για Μάθηση (CAST, 2018) αποτελεί ένα πλαίσιο που προωθεί την ισότιμη πρόσβαση και πολλαπλές οδούς εμπλοκής στη μαθησιακή διαδικασία. Στο πλαίσιο αυτό, η ΑΙ συμβάλλει καθοριστικά, προσφέροντας δυνατότητες προσαρμογής του περιεχομένου και των μέσων παρουσίασης ανάλογα με τις ανάγκες κάθε μαθητή. Στη διδασκαλία της Χημείας, αυτό μπορεί να σημαίνει αυτόματη δημιουργία λεζάντων και μεταφράσεων για πειραματικά βίντεο, ηχητικές περιγραφές για μαθητές με προβλήματα όρασης ή διαδραστικές αναπαραστάσεις για μαθητές με διαφορετικά μαθησιακά στυλ (UNESCO, 2022). Η ΑΙ καθιστά εφικτό έναν ευέλικτο και συμπεριληπτικό σχεδιασμό διδασκαλίας, που μειώνει τα εμπόδια συμμετοχής και ενισχύει την ενεργό εμπλοκή όλων των μαθητών.

Η σύνδεση της ΑΙ με τις θεωρίες μάθησης αναδεικνύει τη συμπληρωματικότητα ανάμεσα στην παιδαγωγική και την τεχνολογία. Οι θεωρίες παρέχουν το αναγκαίο πλαίσιο κατανόησης και εφαρμογής, ενώ η ΑΙ προσφέρει τα μέσα για δυναμική προσαρμογή, αλληλεπίδραση και εξατομίκευση στη διδασκαλία της Χημείας. Μόνο μέσω αυτής της αλληλεξάρτησης μπορεί η ΑΙ να μετασχηματίσει ουσιαστικά τη μαθησιακή εμπειρία, χωρίς να υποκαθιστά τον ανθρώπινο ρόλο του εκπαιδευτικού. Οι παραπάνω θεωρίες δεν εξετάζονται απομονωμένα, αλλά λειτουργούν ως ερμηνευτικό πλαίσιο για την κατανόηση των στάσεων και αντιλήψεων των εκπαιδευτικών σχετικά με τη χρήση της GenAI στη Χημεία. Η διερεύνηση των απόψεών τους

αντανακλά τον βαθμό στον οποίο αντιλαμβάνονται τη συμβατότητα της τεχνολογίας με διαφορετικά παιδαγωγικά μοντέλα.

2.4 Μοντέλα ενσωμάτωσης τεχνολογίας: TPACK, SAMR, RAT/PICRAT, DigCompEdu

2.4.1 TPACK: ισορροπία τριών γνώσεων

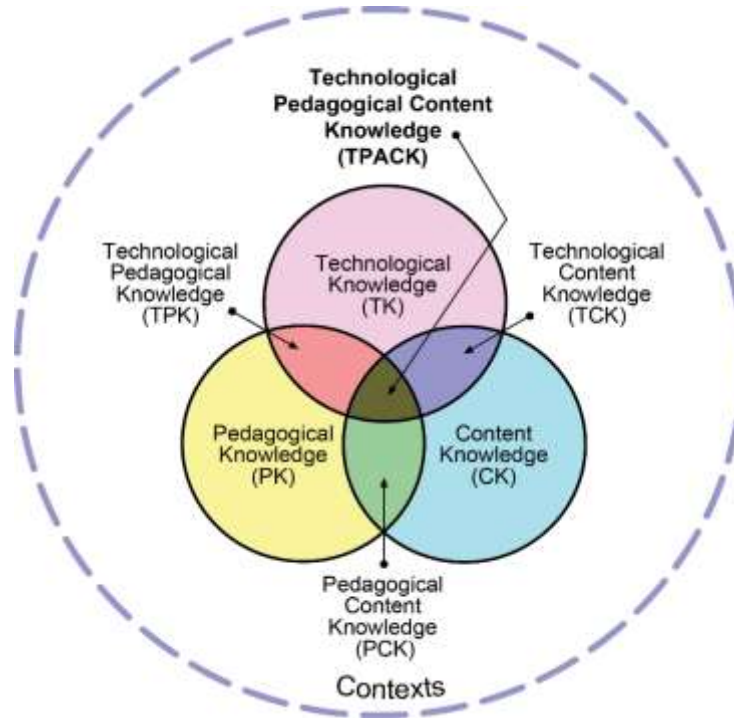
Το TPACK βασίζεται στην ιδέα ότι η επιτυχημένη ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη διδασκαλία απαιτεί τη συνέργεια τριών βασικών μορφών γνώσης:

1. Γνώση Περιεχομένου (Content Knowledge – CK): Αναφέρεται στη σε βάθος γνώση του γνωστικού αντικειμένου. Για παράδειγμα, ένας καθηγητής φυσικών επιστημών οφείλει να γνωρίζει όχι μόνο τους νόμους και τις θεωρίες της φυσικής, αλλά και τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και τις δυσκολίες που συνήθως αντιμετωπίζουν κατά την κατανόησή τους.
2. Παιδαγωγική Γνώση (Pedagogical Knowledge – PK): Περιλαμβάνει τη γνώση των θεωριών μάθησης, των μεθόδων διδασκαλίας, των τρόπων αξιολόγησης και των στρατηγικών διαφοροποίησης που ανταποκρίνονται στις ανάγκες διαφορετικών μαθητών. Ο εκπαιδευτικός οφείλει να γνωρίζει πώς να σχεδιάζει δραστηριότητες που προάγουν τη διερευνητική μάθηση, τη συνεργασία και τη δημιουργικότητα.
3. Τεχνολογική Γνώση (Technological Knowledge – TK): Σχετίζεται με την κατανόηση και τη χρήση των ψηφιακών και τεχνολογικών εργαλείων. Δεν αφορά μόνο τη δεξιότητα χρήσης τους, αλλά κυρίως την παιδαγωγική τους αξιοποίηση με στόχο τη βελτίωση της διδασκαλίας και της μάθησης.

Η ουσία του μοντέλου TPACK έγκειται στην αλληλεπίδραση αυτών των τριών ειδών γνώσης. Ο εκπαιδευτικός πρέπει να γνωρίζει πώς να διδάξει ένα συγκεκριμένο περιεχόμενο (CK) με κατάλληλες παιδαγωγικές μεθόδους (PK) και μέσα από την αποτελεσματική αξιοποίηση της τεχνολογίας (TK). Η επίτευξη αυτής της ισορροπίας είναι αυτό που καθιστά τη διδασκαλία αποτελεσματική, προσαρμόσιμη και καινοτόμα (Mishra & Koehler, 2006).

Στην εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN), το TPACK αποκτά μια νέα διάσταση. Η τεχνολογική γνώση διευρύνεται και περιλαμβάνει πλέον την κατανόηση των ευφύων ψηφιακών εργαλείων, των αλγορίθμων μάθησης μηχανής, καθώς και των ηθικών, γνωσιολογικών και κοινωνικών επιπτώσεων της χρήσης τους στην εκπαίδευση (Kong et al., 2023). Ο εκπαιδευτικός οφείλει να αναπτύξει κριτική επίγνωση σχετικά με το πώς λειτουργούν

τα συστήματα ΤΝ, ποια δεδομένα χρησιμοποιούν και ποια προκαταλήψεις ενδέχεται να ενσωματώνουν. Επιπλέον, χρειάζεται να γνωρίζει πώς να αξιοποιεί αυτά τα εργαλεία με τρόπο παιδαγωγικά τεκμηριωμένο και δεοντολογικά υπεύθυνο.



Εικόνα 2. Το μοντέλο *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)*.

Πηγή: Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). *Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record.*

Για παράδειγμα, στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών, η χρήση εργαλείων ΤΝ μπορεί να επιτρέψει στους μαθητές να πραγματοποιούν εικονικά πειράματα, να προσομοιώνουν φαινόμενα, ή ακόμη να χρησιμοποιούν προγράμματα ανάλυσης δεδομένων που βασίζονται σε αλγορίθμους τεχνητής μάθησης. Ο εκπαιδευτικός καλείται να σχεδιάσει τη μαθησιακή εμπειρία με τρόπο ώστε η τεχνολογία να ενισχύει τη νοηματοδότηση των εννοιών και όχι να την αντικαθιστά.

Στο ελληνικό πλαίσιο, η εφαρμογή του TPACK καθίσταται ολοένα πιο επίκαιρη. Μέσα από τα προγράμματα ψηφιακού μετασχηματισμού στην εκπαίδευση (όπως το «Ψηφιακό Σχολείο» και τα Εργαστήρια Δεξιοτήτων), οι εκπαιδευτικοί καλούνται να αξιοποιήσουν τεχνολογικά εργαλεία όπως πλατφόρμες e-learning, λογισμικά προσομοίωσης και εφαρμογές ΤΝ στη

διδασκαλία. Ωστόσο, η επιτυχία αυτής της ενσωμάτωσης εξαρτάται από την επαρκή επιμόρφωση των εκπαιδευτικών και την υποστήριξη μέσω θεσμικών πολιτικών που προάγουν τη συνεχή επαγγελματική τους ανάπτυξη (Καψάλης & Χαραλάμπους, 2021).

Η ενίσχυση των δεξιοτήτων TRACK και ειδικότερα της AI-Pedagogical Literacy (παιδαγωγικής εγγραμματοσύνης στην ΤΝ) αποτελεί αναγκαιότητα για το εκπαιδευτικό προσωπικό. Ο εκπαιδευτικός της σύγχρονης εποχής πρέπει να μπορεί να αξιολογεί την καταλληλότητα των τεχνολογιών, να προσαρμόζει τη διδασκαλία στις ανάγκες κάθε μαθητή μέσω ευφυών εκπαιδευτικών συστημάτων και να ενθαρρύνει τον κριτικό ψηφιακό εγγραμματισμό των μαθητών του.

2.4.2 SAMR: από την υποκατάσταση στον επαναπροσδιορισμό

Ένα από τα πιο επιδραστικά μοντέλα που αποτυπώνουν αυτή τη σταδιακή ενσωμάτωση είναι το μοντέλο SAMR (Substitution–Augmentation–Modification–Redefinition) του Puentedura (2010). Το SAMR περιγράφει τα επίπεδα ένταξης της τεχνολογίας στη διδασκαλία, από την απλή αντικατάσταση παραδοσιακών πρακτικών έως τον πλήρη επαναπροσδιορισμό της μάθησης.

Το μοντέλο αυτό δεν αποτελεί απλώς μια τεχνική κατηγοριοποίηση, αλλά μια παιδαγωγική κλίμακα μετασχηματισμού που αποκαλύπτει πώς η τεχνολογία – και ειδικά η ΑΙ – μπορεί να μεταβάλει ποιοτικά τον τρόπο που οι μαθητές μαθαίνουν, ερευνούν και δημιουργούν γνώση.

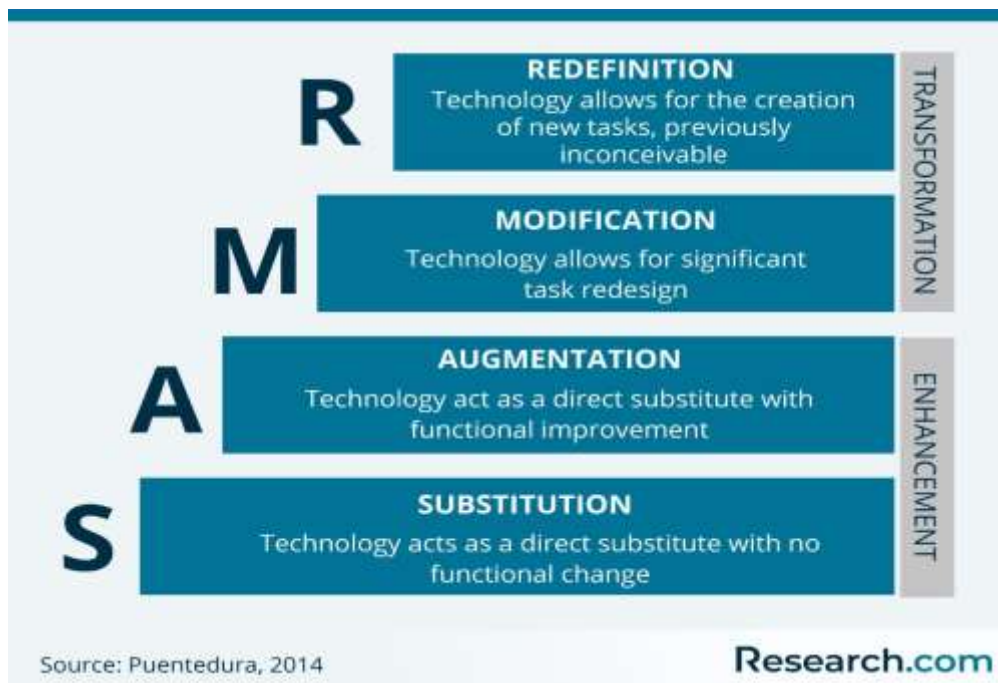
Στο στάδιο Substitution (Αντικατάσταση), η ΑΙ χρησιμοποιείται για να υποκαταστήσει υπάρχουσες διαδικασίες χωρίς ουσιαστική αλλαγή στο διδακτικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, ένα ευφύες σύστημα μπορεί να αναλάβει την αυτόματη διόρθωση ασκήσεων ή τεστ, προσφέροντας ακρίβεια και εξοικονόμηση χρόνου. Παρότι το επίπεδο αυτό δεν μεταβάλλει το μαθησιακό αποτέλεσμα, ενισχύει την αποδοτικότητα της διαδικασίας, προσφέροντας στους εκπαιδευτικούς περισσότερο χρόνο για εξατομικευμένη υποστήριξη. Στο πλαίσιο των Θετικών Επιστημών, η αντικατάσταση μπορεί να αφορά τη χρήση λογισμικών προσομοίωσης στη θέση των παραδοσιακών οργάνων ή ψηφιακών φύλλων εργασίας αντί των έντυπων.

Στο επίπεδο Augmentation (Ενίσχυση), η τεχνολογία – και ειδικά η ΑΙ – προσθέτει επιπλέον λειτουργικότητα και βελτιώνει την εμπειρία μάθησης χωρίς να αλλάζει ριζικά το περιεχόμενο.

Ένα παράδειγμα αποτελεί η χρήση ευφυών συστημάτων ανατροφοδότησης, τα οποία παρέχουν εξατομικευμένες επεξηγήσεις και καθοδήγηση ανάλογα με τις απαντήσεις του μαθητή. Για παράδειγμα, στην εκμάθηση της Χημείας, ένα σύστημα ΑΙ μπορεί να εντοπίζει συστηματικά λάθη στους χημικούς τύπους ή στις εξισώσεις και να παρέχει στοχευμένες παρεμβάσεις,

ενισχύοντας την εννοιολογική κατανόηση. Στο στάδιο αυτό, η ΑΙ λειτουργεί ως ψηφιακός βοηθός μάθησης, χωρίς όμως να μετασχηματίζει ριζικά τη φύση της διδασκαλίας.

Το τρίτο στάδιο, Modification (Τροποποίηση), σηματοδοτεί ένα ουσιαστικό σημείο καμπής. Εδώ, η τεχνολογία δεν λειτουργεί απλώς υποστηρικτικά, αλλά αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο συντελείται η μάθηση. Η ΑΙ επιτρέπει τη δημιουργία δυναμικών, διερευνητικών και διαδραστικών μαθησιακών περιβαλλόντων, όπως εικονικά εργαστήρια φυσικής ή χημείας όπου οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν με ασφάλεια, να παρατηρήσουν μεταβλητές σε πραγματικό χρόνο και να προβλέψουν αποτελέσματα μέσω αλγορίθμων προσομοίωσης. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού μετατρέπεται από απλός καθοδηγητής σε σχεδιαστής μαθησιακών σεναρίων και συντονιστής διερευνητικής σκέψης.



Εικόνα 3. Το μοντέλο SAMR για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας στη μάθηση.

Πηγή: Puentedura, R. (2014). SAMR: A contextualized introduction.

Στο ανώτατο επίπεδο, Redefinition (Επαναπροσδιορισμός), η ΑΙ δεν περιορίζεται στην υποστήριξη της υπάρχουσας διδακτικής διαδικασίας, αλλά αναδιαμορφώνει ριζικά τη φύση της μάθησης. Οι μαθητές αποκτούν τη δυνατότητα να επιλύουν πραγματικά επιστημονικά προβλήματα, να αναλύουν μεγάλα σύνολα δεδομένων ή να δημιουργούν νέα μοντέλα και υποθέσεις με τη βοήθεια ευφών συστημάτων. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιούν εφαρμογές μηχανικής μάθησης για να μελετήσουν την κλιματική αλλαγή, να προβλέψουν την εξάπλωση ενός ιού ή να αναλύσουν δεδομένα από πραγματικά πειράματα φυσικής. Στο στάδιο

αυτό, η ΑΙ μετατρέπεται σε εργαλείο δημιουργίας γνώσης, και οι μαθητές υιοθετούν ρόλο νέων ερευνητών και συνδημιουργών της επιστημονικής γνώσης.

Η αξία του μοντέλου SAMR έγκειται στο ότι επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να αναστοχαστεί τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνει την τεχνολογία και να αξιολογήσει εάν η χρήση της απλώς εξυπηρετεί λειτουργικές ανάγκες ή συμβάλλει σε βαθύτερο μαθησιακό μετασχηματισμό. Ιδιαίτερα στις Θετικές Επιστήμες, όπου η πειραματική και διερευνητική φύση των μαθημάτων απαιτεί ενεργό συμμετοχή, η ΑΙ μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης γνωστικής ανάπτυξης, ενισχύοντας τη σύνδεση θεωρίας και πράξης.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση της ΑΙ σύμφωνα με το μοντέλο SAMR ενισχύει την ανακαλυπτική και βιωματική μάθηση, επιτρέποντας στους μαθητές να μαθαίνουν μέσα από τη δοκιμή, την αποτυχία και τη δημιουργία. Η χρήση εργαλείων όπως οι εικονικοί βοηθοί μάθησης, τα ευφυή εργαστήρια και οι προσαρμοστικές πλατφόρμες διδασκαλίας μετατρέπει τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών σε διαδικασία διερεύνησης και καινοτομίας, όπου ο μαθητής δεν είναι απλός δέκτης αλλά ενεργός δημιουργός της γνώσης του.

2.4.3 RAT και PICRAT: χρησιμότητα και εμπλοκή

Η αποτελεσματική ενσωμάτωση της τεχνολογίας και ειδικότερα της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (GenAI) στην εκπαιδευτική πράξη προϋποθέτει την ύπαρξη εργαλείων ανάλυσης που επιτρέπουν στον εκπαιδευτικό να κατανοεί πώς η τεχνολογία επηρεάζει τη μάθηση. Τα μοντέλα RAT (Replace–Amplify–Transform) και PICRAT (Passive–Interactive–Creative / Replace–Amplify–Transform) αποτελούν δύο από τα πιο αναγνωρισμένα πλαίσια για την αποτίμηση του βαθμού ενσωμάτωσης της τεχνολογίας και του επιπέδου εμπλοκής του μαθητή. Το μοντέλο RAT, που αναπτύχθηκε από την Hughes (2005), προτείνει τρεις διαστάσεις παιδαγωγικής χρήσης της τεχνολογίας:

1. Replace (Αντικατάσταση): η τεχνολογία αντικαθιστά μια παραδοσιακή πρακτική χωρίς ποιοτική μεταβολή· για παράδειγμα, ένα βίντεο εξήγησης αντικαθιστά τη διάλεξη.
2. Amplify (Ενίσχυση): η τεχνολογία βελτιώνει την αποδοτικότητα, την ταχύτητα ή την ακρίβεια της διδασκαλίας· π.χ. ένα σύστημα GenAI που αξιολογεί αυτόματα ασκήσεις χημείας.
3. Transform (Μετασχηματισμός): η τεχνολογία επιτρέπει νέες μορφές μάθησης που δεν ήταν προηγουμένως εφικτές· για παράδειγμα, η χρήση GenAI για προσομοίωση εικονικών πειραμάτων ή δυναμικών αντιδράσεων (Hughes, 2005).

Στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, το RAT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση του βαθμού στον οποίο τα εργαλεία GenAI (π.χ. προσαρμοστικά συστήματα μάθησης, εικονικά εργαστήρια, αυτόματη ανατροφοδότηση) συμβάλλουν στην ανανέωση της διδακτικής πρακτικής. Για παράδειγμα, η χρήση ενός chatbot GenAI που απαντά σε ερωτήσεις των μαθητών σχετικά με τη χημική ισορροπία ενδέχεται να ενισχύει (amplify) τη διαδικασία εξάσκησης, ενώ η δημιουργία από τους μαθητές προσωποποιημένων εικονικών πειραμάτων με υποστήριξη GenAI να συνιστά μετασχηματισμό (transform) της μαθησιακής εμπειρίας.

Ωστόσο, το RAT εστιάζει πρωτίστως στο πώς χρησιμοποιεί την τεχνολογία ο εκπαιδευτικός, αφήνοντας λιγότερο χώρο για την ανάλυση της ενεργού εμπλοκής του μαθητή. Το μοντέλο PICRAT του Kimmons (2016) επεκτείνει αυτή τη λογική, εντάσσοντας μια δεύτερη διάσταση που αφορά το είδος της μαθησιακής δραστηριότητας:

- **Passive (Παθητική):** ο μαθητής δέχεται πληροφορίες χωρίς ενεργή συμμετοχή· π.χ. παρακολουθεί μια προσομοίωση TN που δείχνει τη διάσπαση μορίων.
- **Interactive (Διαδραστική):** ο μαθητής αλληλεπιδρά με το περιβάλλον, δοκιμάζει, απαντά και λαμβάνει ανατροφοδότηση· π.χ. συμμετέχει σε προσαρμοστικό quiz που προσαρμόζει ερωτήσεις ανάλογα με τις απαντήσεις του.
- **Creative (Δημιουργική):** ο μαθητής δημιουργεί νέο περιεχόμενο ή γνώση· π.χ. σχεδιάζει ένα εικονικό πείραμα ή δημιουργεί ένα μοντέλο χημικής αντίδρασης με τη βοήθεια της TN (Kimmons, 2016).

Η διασταύρωση αυτών των δύο διαστάσεων (RAT × εμπλοκή μαθητή) δημιουργεί ένα πλέγμα έξι πιθανών σεναρίων αξιοποίησης της τεχνολογίας, που κυμαίνονται από το *Passive–Replace* έως το *Creative–Transform*. Στο μάθημα της Χημείας, ενδεικτικά παραδείγματα είναι:

- **Passive–Replace:** οι μαθητές παρακολουθούν βίντεο TN για τη θεωρία οξέων-βάσεων.
- **Interactive–Amplify:** συμμετέχουν σε προσαρμοστικό κουίζ GenAI με αυτόματη ανατροφοδότηση και προσαρμογή δυσκολίας.
- **Creative–Transform:** σχεδιάζουν δικό τους εικονικό πείραμα χημικής ισορροπίας, τροποποιούν μεταβλητές και τεκμηριώνουν τα συμπεράσματά τους, ενσωματώνοντας δεδομένα από προσομοιώσεις GenAI.

Η αξία του μοντέλου PICRAT δεν περιορίζεται στη θεωρητική ανάλυση. Αποτελεί επίσης μεθοδολογικό εργαλείο για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση διδακτικών σεναρίων με GenAI, καθώς επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να εντοπίσει το επίπεδο παιδαγωγικής αξίας και να επιδιώξει μετατόπιση από χαμηλότερα (παθητικά) σε υψηλότερα (δημιουργικά) επίπεδα

εμπλοκής. Στο πλαίσιο μιας διδακτικής έρευνας δράσης, ο εκπαιδευτικός μπορεί να χρησιμοποιήσει το PICRAT για να χαρτογραφήσει τις δραστηριότητες που σχεδιάζει και να αξιολογήσει αν η ενσωμάτωση της GenAI επιτυγχάνει τον επιδιωκόμενο παιδαγωγικό μετασχηματισμό (Hughes et al., 2019; Kimmons, 2016).

Για παράδειγμα, ένα ερευνητικό σενάριο στη Χημεία θα μπορούσε να περιλαμβάνει τρεις φάσεις:

1. Αρχική εφαρμογή (Replace): χρήση TN για παρουσίαση βασικών εννοιών.
2. Ενισχυμένη διδασκαλία (Amplify): αξιοποίηση έξυπνων προσομοιώσεων με προσαρμογή δυσκολίας.
3. Μετασχηματιστική μάθηση (Transform): δημιουργία νέου περιεχομένου από τους μαθητές με τη χρήση εργαλείων GenAI (π.χ. σχεδιασμός πειράματος ή πρόβλεψη προϊόντων αντίδρασης).

Στο επίπεδο της αξιολόγησης, το PICRAT μπορεί να αποτελέσει εργαλείο ποιοτικής ανάλυσης των δεδομένων μάθησης, βοηθώντας τον ερευνητή να καταγράψει σε ποιο βαθμό οι μαθητές μετακινούνται προς δημιουργικές μορφές εμπλοκής. Μέσω παρατήρησης, συνεντεύξεων ή αναλύσεων παραγόμενων έργων, μπορεί να διαπιστωθεί αν η GenAI λειτουργεί ως εργαλείο ενίσχυσης ή μετασχηματισμού της μάθησης στη Χημεία.

Επιπλέον, τα μοντέλα αυτά ενθαρρύνουν μια κριτική στάση απέναντι στη χρήση της GenAI. Ο εκπαιδευτικός καλείται να αναρωτηθεί:

- Υπηρετεί η χρήση της GenAI έναν σαφή μαθησιακό στόχο ή απλώς αντικαθιστά μια υφιστάμενη πρακτική;
- Αυξάνει η GenAI την ενεργό συμμετοχή των μαθητών;
- Ενισχύει τη δημιουργικότητα και τη διερευνητική σκέψη;

Η αξιοποίηση των πλαισίων RAT και PICRAT ως εργαλείων σχεδιασμού και αναστοχασμού στη διδασκαλία της Χημείας συμβάλλει στην ανάπτυξη παιδαγωγικά ενημερωμένων στρατηγικών ενσωμάτωσης της GenAI. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, η τεχνολογία παύει να αποτελεί απλό μέσο διδασκαλίας και μετατρέπεται σε πλαίσιο οικοδόμησης γνώσης, όπου οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά, αλληλεπιδρούν, πειραματίζονται και δημιουργούν.

2.4.4 DigCompEdu: Ψηφιακές Ικανότητες Εκπαιδευτικών

Η ενσωμάτωση της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (GenAI) στην εκπαίδευση προϋποθέτει όχι μόνο τεχνική επάρκεια αλλά και ψηφιακή παιδαγωγική ικανότητα από την πλευρά των εκπαιδευτικών. Το ευρωπαϊκό πλαίσιο DigCompEdu (Digital Competence

Framework for Educators), που αναπτύχθηκε από τους Redecker και Punie (2017) για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, αποτελεί το βασικό σημείο αναφοράς για τον ορισμό και την ανάπτυξη των ψηφιακών ικανοτήτων των εκπαιδευτικών σε όλη την Ευρώπη. Το πλαίσιο αυτό δεν περιορίζεται στην τεχνική χρήση εργαλείων, αλλά εστιάζει στην παιδαγωγική αξιοποίηση της τεχνολογίας με σκοπό τη βελτίωση της διδασκαλίας, της μάθησης και της αξιολόγησης.

Το DigCompEdu οργανώνεται σε έξι διαστάσεις (ή περιοχές ικανοτήτων), οι οποίες καλύπτουν όλο το φάσμα του εκπαιδευτικού έργου:

1. Επαγγελματική Δέσμευση (Professional Engagement)
2. Ψηφιακοί Πόροι (Digital Resources)
3. Διδασκαλία και Μάθηση (Teaching and Learning)
4. Αξιολόγηση (Assessment)
5. Ενδυνάμωση των Εκπαιδευομένων (Empowering Learners)
6. Υποστήριξη της Ψηφιακής Ικανότητας των Μαθητών (Facilitating Learners' Digital Competence)

(Redecker & Punie, 2017).

Κάθε μία από αυτές τις περιοχές μπορεί να εμπλουτιστεί ουσιαστικά μέσα από τις δυνατότητες που προσφέρει η GenAI, υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται με παιδαγωγικό σκοπό και κριτικό στοχασμό.



Εικόνα 4. Το πλαίσιο ψηφιακών δεξιοτήτων εκπαιδευτικών DigCompEdu.

Πηγή: Redecker, C., & Punie, Y. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators (DigCompEdu)*. European Commission.

Επαγγελματική Δέσμευση

Η πρώτη διάσταση αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν την τεχνολογία για να συνεργάζονται, να επικοινωνούν και να αναπτύσσονται επαγγελματικά. Η GenAI μπορεί να ενισχύσει αυτή τη διάσταση μέσω εργαλείων ανάλυσης δεδομένων, που επιτρέπουν στον εκπαιδευτικό να αναστοχάζεται πάνω στην αποτελεσματικότητα των πρακτικών του (Kong et al., 2023). Επιπλέον, τα συστήματα GenAI μπορούν να λειτουργήσουν ως «ψηφιακοί συνεργάτες» στη δημιουργία υλικού, την αναζήτηση πηγών ή την ανάλυση επιδόσεων μαθητών, διευκολύνοντας τη συνεχή επαγγελματική μάθηση (Redecker & Punie, 2017). Στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας, αυτό μπορεί να σημαίνει ότι ο εκπαιδευτικός χρησιμοποιεί εργαλεία GenAI για να εντοπίσει κοινά μαθησιακά λάθη στα εργαστηριακά ημερολόγια των μαθητών ή να αναλύσει τα δεδομένα αξιολόγησης από προσομοιώσεις χημικών αντιδράσεων.

Ψηφιακοί Πόροι

Η δεύτερη διάσταση σχετίζεται με την επιλογή, αξιολόγηση, δημιουργία και κοινοποίηση ψηφιακών πόρων. Με την είσοδο της AI, ο εκπαιδευτικός καλείται να επιδεικνύει ψηφιακή κριτική ικανότητα, επιλέγοντας εργαλεία που είναι παιδαγωγικά κατάλληλα, επιστημονικά έγκυρα και δεοντολογικά ασφαλή (Holmes et al., 2022). Στη Χημεία, αυτό μπορεί να αφορά την επιλογή προσομοιώσεων ή γεννητικών συστημάτων που δεν αναπαράγουν ανακριβή δεδομένα ή προκαταλήψεις.

Η GenAI μπορεί επίσης να υποστηρίξει τον σχεδιασμό εξατομικευμένων ψηφιακών πόρων, όπως δυναμικές οπτικοποιήσεις χημικών φαινομένων ή διαδραστικά φύλλα εργασίας που προσαρμόζονται στις απαντήσεις του μαθητή (Luckin et al., 2019). Ωστόσο, ο εκπαιδευτικός παραμένει υπεύθυνος για τη δεοντολογική διαχείριση των δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικότητας των μαθητών.

Διδασκαλία και Μάθηση

Η τρίτη περιοχή επικεντρώνεται στη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών για τη διευκόλυνση και ενίσχυση της μαθησιακής διαδικασίας. Στο πλαίσιο της GenAI, ο ρόλος του εκπαιδευτικού μετασχηματίζεται από απλό μεταδότη γνώσης σε σχεδιαστή μαθησιακών εμπειριών (Kong et al., 2023). Για παράδειγμα, στην εκπαίδευση της Χημείας, μπορεί να αξιοποιηθεί η GenAI για να δημιουργηθούν προσαρμοστικά περιβάλλοντα διερεύνησης, όπου οι μαθητές

πειραματίζονται με μεταβλητές και παρατηρούν σε πραγματικό χρόνο τις επιπτώσεις των επιλογών τους.

Η GenAI μπορεί επίσης να παρέχει στοχευμένες παρεμβάσεις σε μαθητές που δυσκολεύονται, ενισχύοντας έτσι τη διαφοροποίηση της διδασκαλίας. Η διαφοροποίηση αυτή δεν είναι απλώς τεχνική, αλλά παιδαγωγική, καθώς βασίζεται στη συνεχή ανάλυση δεδομένων μάθησης (learning analytics) που παράγουν τα συστήματα GenAI.

Αξιολόγηση

Η τέταρτη διάσταση αφορά τη χρήση τεχνολογίας για παρακολούθηση, ανατροφοδότηση και αξιολόγηση της προόδου των μαθητών. Η GenAI προσφέρει ισχυρές δυνατότητες για αυτόματη ανάλυση δεδομένων, προγνωστική αξιολόγηση και παροχή εξατομικευμένης ανατροφοδότησης (Ifenthaler & Yau, 2020). Στη Χημεία, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα που εντοπίζουν πρότυπα λανθασμένων αντιλήψεων στις απαντήσεις των μαθητών, όπως παρανοήσεις σχετικά με τη διατήρηση της μάζας ή την ενέργεια δεσμών. Με αυτόν τον τρόπο, η GenAI μπορεί να βοηθήσει τον εκπαιδευτικό να σχεδιάσει πιο στοχευμένες παρεμβάσεις και να ενισχύσει τη διαμορφωτική αξιολόγηση (formative assessment).

Ενδυνάμωση των Εκπαιδευομένων

Η πέμπτη διάσταση αφορά τη συμπερίληψη, την εξατομίκευση και την ενεργοποίηση των μαθητών. Η GenAI μπορεί να προσφέρει ευέλικτα μαθησιακά περιβάλλοντα, στα οποία κάθε μαθητής προχωρά με τον δικό του ρυθμό, λαμβάνοντας υποστήριξη ανάλογα με τις ανάγκες του (UNESCO, 2022). Στη διδασκαλία της Χημείας, τα εργαλεία GenAI μπορούν να υποστηρίξουν μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες μέσω πολυτροπικών αναπαραστάσεων (κείμενο, ήχος, κινούμενες εικόνες) ή να προσαρμόσουν τη δυσκολία των προβλημάτων ανάλογα με την επίδοση. Με αυτόν τον τρόπο, η GenAI συμβάλλει στην ισότητα των ευκαιριών και στη διαμόρφωση ενός συμπεριληπτικού μαθησιακού περιβάλλοντος (CAST, 2018).

Υποστήριξη της Ψηφιακής Ικανότητας των Μαθητών

Η τελευταία διάσταση του DigCompEdu αφορά τον ρόλο του εκπαιδευτικού στην καλλιέργεια των ψηφιακών δεξιοτήτων των μαθητών. Στην εποχή της GenAI, αυτό μεταφράζεται στην ανάπτυξη της λεγόμενης AI literacy, δηλαδή της ικανότητας των μαθητών να κατανοούν, να αξιολογούν και να χρησιμοποιούν υπεύθυνα τα συστήματα GenAI (Kong et al., 2023).

Οι μαθητές της Χημείας πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν πώς λειτουργούν οι αλγόριθμοι που επεξεργάζονται επιστημονικά δεδομένα, να αξιολογούν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και να αντιλαμβάνονται τις δεοντολογικές διαστάσεις της χρήσης της GenAI στην επιστημονική έρευνα. Έτσι, ο ρόλος του εκπαιδευτικού διευρύνεται, καθώς δεν περιορίζεται στη διδασκαλία του γνωστικού αντικειμένου, αλλά περιλαμβάνει την καλλιέργεια κριτικής σκέψης, υπευθυνότητας και ηθικής επίγνωσης στη χρήση της τεχνολογίας.

Η αξιοποίηση του πλαισίου DigCompEdu, σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση εργαλείων GenAI, παρέχει στους εκπαιδευτικούς της Χημείας ένα ολοκληρωμένο παιδαγωγικό και επαγγελματικό πλαίσιο. Μέσα από αυτό, η GenAI δεν αντιμετωπίζεται απλώς ως εργαλείο καινοτομίας, αλλά ως μέσο ενδυνάμωσης του εκπαιδευτικού ρόλου και ανάπτυξης ψηφιακού γραμματισμού στους μαθητές, προωθώντας μια εκπαίδευση που είναι ταυτόχρονα τεχνολογικά εξελιγμένη και παιδαγωγικά ανθρώπινη. Στον πίνακα 1. παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία για κάθε μοντέλο που αναλύθηκε στην ενότητα 2.4.

Πίνακας 1. Συνολικές παρατηρήσεις μοντέλων ενσωμάτωσης τεχνολογίας

Μοντέλο	Διαστάσεις	Παραδείγματα Χημείας	Εφαρμογή με GenAI
TPACK	CK/PK/TK	Πειράματα, Προσομοιώσεις	Εικονικά πειράματα, ανάλυση δεδομένων
SAMR	Sub/Aug/Mod/Red	Quiz, Labs, Projects	Ανάλυση δεδομένων, προσομοιώσεις, δημιουργία μοντέλων
RAT	Replace/Amplify/Transform	Βίντεο, Quiz, Πειράματα	Chatbots, προσομοιώσεις, εικονικά πειράματα
PICRAT	Passive/Interactive/Creative + RAT	Βίντεο, Quiz, Δημιουργία πειράματος	Παρατήρηση, σχεδιασμός, παραγωγή περιχομένου
DigCompEdu	6 περιοχές	Συνεργασία, Αξιολόγηση, Empowering	Προσαρμοστικά περιβάλλοντα, AI literacy

2.5 Παράδειγμα Πλήρους Μικρο-Σεναρίου (Γ' Λυκείου: «Χημική Ισορροπία»)

Πίνακας 2. Βήματα διαδικασίας.

Βήμα	Τεχνολογία / Εργαλείο	Σκοπός / Δραστηριότητα	Σχόλιο Παιδαγωγικής Αξίας
1. Αφόρμηση	LLM (Large Language Model)	Ερώτηση πρόβλεψης: «Τι θα συμβεί αν αυξήσω την πίεση;»	Ενεργοποιεί προϋπάρχουσες γνώσεις, προετοιμάζει μαθητές για inquiry-based μάθηση.
2. Διερεύνηση	VR / Sim + GenAI	Εικονικό εργαστήριο με μεταβολή πίεσης, θερμοκρασίας, συγκέντρωσης. Το σύστημα προτείνει πειραματικές διαδρομές και καταγράφει ενέργειες	Δίνει δυνατότητα ασφαλούς και εξατομικευμένης πειραματικής μάθησης, ενισχύει μεταγνωστική παρακολούθηση.
3. Επεξήγηση	LLM + Concept Map	Δημιουργία εξηγήσεων, το LLM βελτιώνει δομή και γλώσσα χωρίς να αποκαλύπτει θεωρία	Αναπτύσσει δεξιότητες γραπτής επικοινωνίας, κριτικής σκέψης, και αξιοποίησης υποστήριξης TN.
4. Εμπέδωση	Adaptive Quiz (GenAI)	Προσαρμοστικό τεστ με εξατομικευμένη ανατροφοδότηση	Ενισχύει εννοιολογική κατανόηση, διορθώνει παρανοήσεις.
5. Αξιολόγηση	Learning Analytics	Παρακολούθηση μοτίβων λαθών, αναγνώριση σημείων για επαναδιδασκαλία	Υποστηρίζει διαμορφωτική αξιολόγηση και στοχευμένες παρεμβάσεις.

Σύνδεση με Πλαίσια Ενσωμάτωσης Τεχνολογίας

Μοντέλο Εφαρμογή στο Σενάριο

TRACK TK: LLM + Sim, PK: inquiry-based learning, CK: Χημική Ισορροπία.
Συνδυασμός τριών γνώσεων για αποτελεσματική μάθηση.

Μοντέλο	Εφαρμογή στο Σενάριο
SAMR	Modification & Redefinition: η GenAI δεν αντικαθιστά απλώς παλιά εργαλεία αλλά δημιουργεί νέα μαθησιακά περιβάλλοντα, π.χ. εικονικά πειράματα και adaptive quizzes.
RAT/PICRAT	Transform + Creative: οι μαθητές δημιουργούν εικονικά σενάρια, διερευνούν παραμέτρους, συμμετέχουν ενεργά και δημιουργικά.

Παιδαγωγικά Σημεία Κλειδιά

1. Ενεργός μαθητής: Ο μαθητής δεν είναι παθητικός δέκτης αλλά συμμετέχει, πειραματίζεται, δοκιμάζει υποθέσεις.
2. Ρόλος εκπαιδευτικού: Κριτικός «φύλακας ποιότητας», επιβεβαιώνει ακρίβεια περιεχομένου και ηθική χρήση της TN.
3. Δημιουργία γνώσης: Το σενάριο υποστηρίζει τη σύνθεση νέας γνώσης μέσω προσομοιώσεων και ανατροφοδότησης.
4. Διαμορφωτική αξιολόγηση: Τα analytics και adaptive quizzes επιτρέπουν στοχευμένη παρέμβαση.
5. Ενσωμάτωση AI literacy: Οι μαθητές εκτίθενται σε εργαλεία TN με παιδαγωγικά ασφαλή τρόπο, αναπτύσσοντας κριτική και δεοντολογική επίγνωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

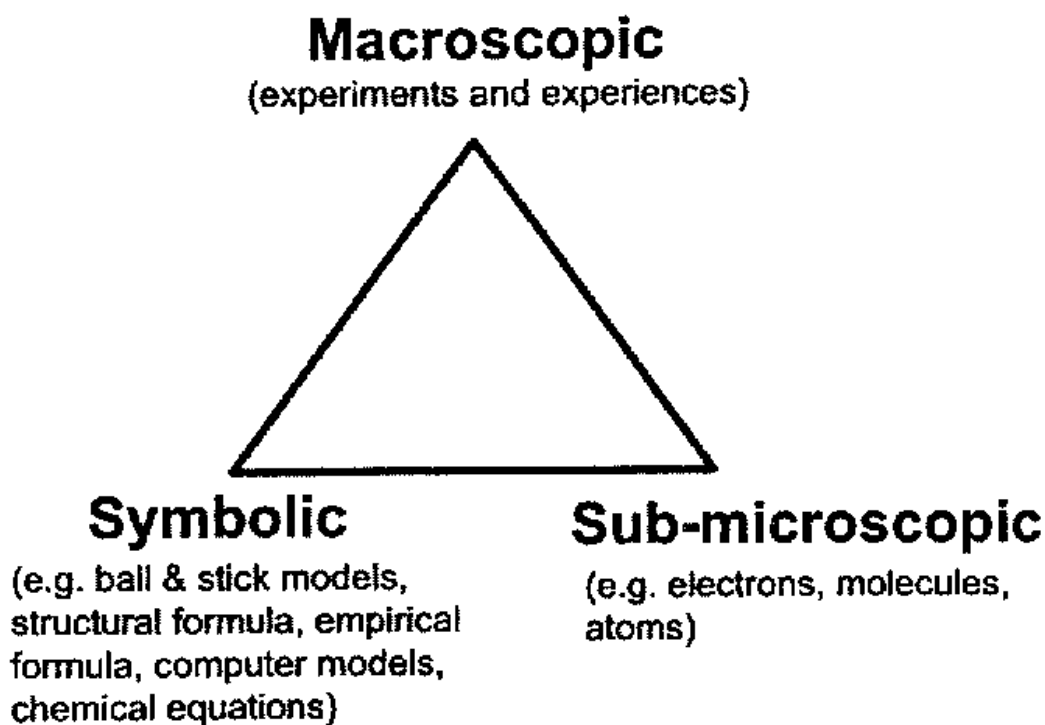
3.1 Εισαγωγή

Η Χημεία αποτελεί έναν από τους πιο σύνθετους και γνωστικά απαιτητικούς κλάδους των Θετικών Επιστημών. Ο Taber (2018) τονίζει ότι η κατανόηση της χημείας απαιτεί τη συνεχή μετάβαση μεταξύ τριών επιπέδων αναπαράστασης: του μακροσκοπικού (παρατήρηση φαινομένων), του μικροσκοπικού (σωματιδιακό μοντέλο) και του συμβολικού (χημικά σύμβολα και εξισώσεις). Η μετάβαση αυτή δεν είναι απλή· οι μαθητές καλούνται να «σκεφτούν αφηρημένα» για φαινόμενα που δεν βλέπουν, να χρησιμοποιήσουν γλώσσα υψηλού βαθμού συμβολισμού και να συσχετίσουν ποιοτικές και ποσοτικές διαστάσεις (Johnstone, 1993).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη, με τις δυνατότητές της να επεξεργάζεται δεδομένα, να αναγνωρίζει μοτίβα και να προσαρμόζει τη μαθησιακή εμπειρία, προσφέρει μια νέα παιδαγωγική προοπτική στη διδασκαλία της Χημείας. Ενώ παλαιότερες μορφές τεχνολογίας περιορίζονταν στην παρουσίαση πληροφοριών, η ΑΙ επιτρέπει αλληλεπιδραστική μάθηση, προσωποποιημένη ανατροφοδότηση και δυναμική οπτικοποίηση πολύπλοκων φαινομένων (Luckin et al., 2019).

Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση ΑΙ στη διδασκαλία της Χημείας δεν είναι απλώς τεχνολογική καινοτομία· συνιστά παιδαγωγικό μετασχηματισμό, όπου η γνώση οικοδομείται από κοινού μέσω της αλληλεπίδρασης ανθρώπου και μηχανής. Ο Holmes et al. (2022) επισημαίνουν ότι η ΑΙ μπορεί να λειτουργήσει ως «γνωστικός συνεργάτης», δηλαδή ως εργαλείο που δεν αντικαθιστά τον δάσκαλο, αλλά τον ενισχύει, παρέχοντας δεδομένα και αναλύσεις που βοηθούν στη διαφοροποιημένη διδασκαλία.

Επιπλέον, η εισαγωγή της ΑΙ στη Χημεία συνδέεται με την ανάγκη καλλιέργειας επιστημονικής σκέψης και ψηφιακής παιδείας. Η κατανόηση της ΑΙ δεν αφορά μόνο τη χρήση της, αλλά και την κριτική επίγνωση των δυνατοτήτων και των περιορισμών της. Όπως σημειώνει ο Selwyn (2021), ο σκοπός της εκπαίδευσης στην εποχή της ΑΙ είναι να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν όχι μόνο το «πώς» αλλά και το «γιατί» της τεχνολογίας. Καθώς οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί καλούνται να κινηθούν σε ένα περιβάλλον αυξανόμενης τεχνολογικής πολυπλοκότητας, η ΑΙ στη Χημεία προσφέρει ένα νέο πλαίσιο για ενεργητική, διερευνητική και δημιουργική μάθηση, εφόσον συνοδεύεται από στοχαστικό παιδαγωγικό σχεδιασμό.



Εικόνα 5. Τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της χημικής γνώσης.

Πηγή: Johnstone, A. H. (1993). *The development of chemistry teaching*. *Journal of Chemical Education*.

3.2 Η GenAI στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών

Η αξιοποίηση της AI στη διδασκαλία των Θετικών Επιστημών (STEM) έχει αναδειχθεί ως ένα από τα πλέον ελπιδοφόρα πεδία εκπαιδευτικής καινοτομίας. Σύμφωνα με τη συστηματική ανασκόπηση των Zawacki-Richter et al. (2019), η περίοδος 2018–2025 χαρακτηρίζεται από εκρηκτική αύξηση δημοσιεύσεων που αφορούν τη χρήση AI σε μαθησιακά περιβάλλοντα Φυσικής, Βιολογίας, Μαθηματικών και Χημείας.

Η συμβολή της AI στο STEM εκδηλώνεται κυρίως σε πέντε διαστάσεις:

- (α) εξατομικευμένη μάθηση,
- (β) αναλυτικά μάθησης και προγνωστικά μοντέλα,
- (γ) προσομοιώσεις και εικονικά εργαστήρια,
- (δ) συνεργατικά περιβάλλοντα,
- (ε) καλλιέργεια δεξιοτήτων AI literacy

3.2.1 Εξατομικευμένη και προσαρμοστική μάθηση

Η εξατομικευμένη μάθηση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους και πιο ελπιδοφόρους στόχους της ΑΙ στην εκπαίδευση. Η βασική της αρχή είναι ότι κάθε μαθητής μαθαίνει με διαφορετικό ρυθμό, στυλ και τρόπο σκέψης. Στο πλαίσιο αυτό, τα ευφυή συστήματα διδασκαλίας (Intelligent Tutoring Systems – ITS) αξιοποιούν εξελιγμένους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης προκειμένου να «διαβάσουν» τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις του μαθητή. Μέσω της συνεχούς ανάλυσης δεδομένων, προσαρμόζουν δυναμικά το περιεχόμενο, τη δυσκολία των ασκήσεων και τον τύπο ανατροφοδότησης, έτσι ώστε η μαθησιακή εμπειρία να ευθυγραμμίζεται με τις ανάγκες και τις δυνατότητες του κάθε μαθητή (VanLehn, 2011).

Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι η διδασκαλία παύει να είναι ενιαία και στατική. Ένα ευφυές σύστημα μπορεί, για παράδειγμα, να παρατηρήσει ότι ένας μαθητής στη Φυσική δυσκολεύεται να κατανοήσει την έννοια της επιτάχυνσης, και έτσι να του παρουσιάσει περισσότερα παραδείγματα, οπτικές αναπαραστάσεις ή βήμα-βήμα επεξηγήσεις. Αντίθετα, ένας άλλος μαθητής που έχει ήδη κατακτήσει τη βασική κατανόηση, μπορεί να καθοδηγηθεί σε πιο απαιτητικές εφαρμογές ή σε προσομοιώσεις πραγματικών φαινομένων.

Οι έρευνες δείχνουν ότι η εφαρμογή των ITS στις θετικές επιστήμες έχει επιφέρει αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Στη Φυσική και στα Μαθηματικά, οι μαθητές που εργάστηκαν με τέτοια συστήματα παρουσίασαν βαθύτερη κατανόηση των εννοιών και καλύτερη διατήρηση της γνώσης στο χρόνο (Luckin et al., 2019). Στη Χημεία, αντίστοιχα, τα ευφυή περιβάλλοντα μάθησης συμβάλλουν στην ανάπτυξη εννοιολογικών δεσμών ανάμεσα στα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα, διευκολύνοντας τη μετάβαση από την απλή αποστήθιση στη δημιουργική κατανόηση — όπως στις περιπτώσεις της στοιχειομετρίας ή της χημικής ισορροπίας (Zhai et al., 2021).

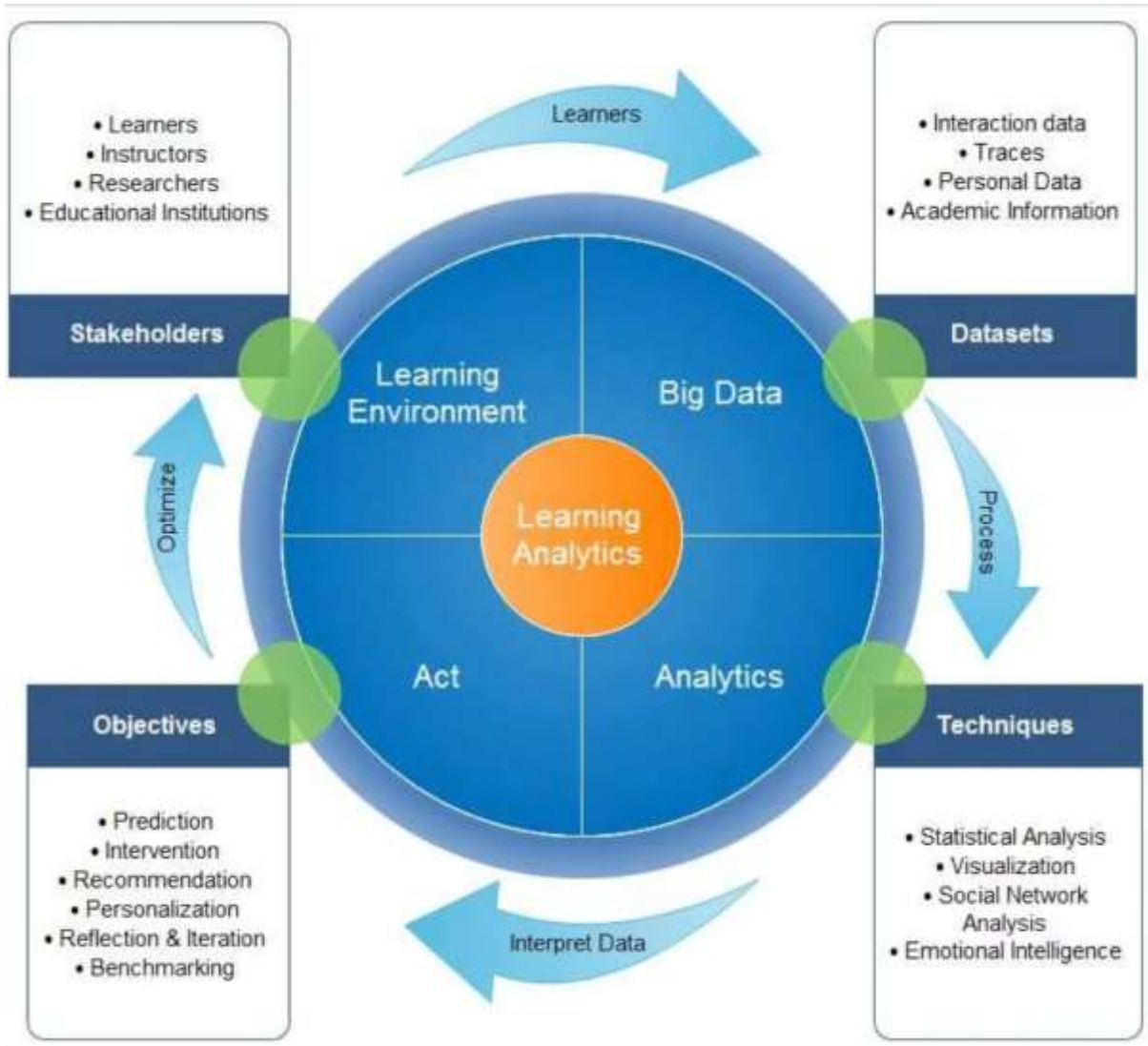
Η προσέγγιση αυτή συνδέεται στενά με την έννοια της προσαρμοστικής μάθησης (adaptive learning). Πρόκειται για ένα δυναμικό μοντέλο διδασκαλίας, στο οποίο η εκπαιδευτική διαδρομή δεν είναι προκαθορισμένη αλλά εξελίσσεται συνεχώς, καθώς το σύστημα αντλεί πληροφορίες από τις επιδόσεις και τις αντιδράσεις του μαθητή (Ifenthaler & Yau, 2020). Μέσα από αυτή τη διαδικασία, ο μαθητής δεν είναι πλέον παθητικός δέκτης γνώσης, αλλά ενεργός συνδημιουργός της δικής του μαθησιακής εμπειρίας. Η ενίσχυση της αυτορρύθμισης, της αυτονομίας και της ενεργούς εμπλοκής αποτελούν τα πιο ουσιαστικά οφέλη αυτής της προσέγγισης, καθώς η μάθηση μετατρέπεται σε προσωπικό ταξίδι εξερεύνησης και όχι σε μια ενιαία, μηχανιστική διαδικασία.

3.2.2 Αναλυτικά μάθησης και εκπαιδευτική εξόρυξη δεδομένων

Ένας ακόμη ταχύτατα αναπτυσσόμενος τομέας της GenAI στην εκπαίδευση είναι τα αναλυτικά μάθησης (learning analytics) και η εκπαιδευτική εξόρυξη δεδομένων (educational data mining). Οι τεχνολογίες αυτές αξιοποιούν τη δύναμη των δεδομένων που παράγονται καθημερινά από τη μαθησιακή δραστηριότητα — όπως ο χρόνος ενασχόλησης με τις δραστηριότητες, η συχνότητα λαθών, τα μοτίβα απαντήσεων ή ακόμη και η συναισθηματική ανταπόκριση του μαθητή. Μέσα από την ανάλυση αυτών των δεδομένων, τα συστήματα GenAI μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα συμπεριφοράς, να προβλέψουν πιθανά σημεία δυσκολίας και να υποστηρίξουν τον εκπαιδευτικό στη λήψη παιδαγωγικών αποφάσεων (Ifenthaler & Yau, 2020). Στα μαθήματα STEM, η συμβολή των learning analytics είναι ιδιαίτερα σημαντική. Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αποκτήσουν μια σαφή και τεκμηριωμένη εικόνα της προόδου των μαθητών τους μέσα από τη δημιουργία προφίλ μάθησης (learning profiles). Αυτά τα προφίλ συνθέτουν μια λεπτομερή αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο κάθε μαθητής προσεγγίζει τη γνώση, ποια στάδια της διαδικασίας μάθησης τον δυσκολεύουν και ποια στρατηγική αποδίδει καλύτερα. Για παράδειγμα, ένα εργαλείο AI μπορεί να αναγνωρίσει ότι ένας μαθητής δυσκολεύεται να συσχετίσει τη μάζα με τον όγκο και να του προτείνει στοχευμένες δραστηριότητες που ενισχύουν αυτή τη σύνδεση μέσα από πειραματικά δεδομένα, διαδραστικά γραφήματα ή προσομοιώσεις.

Η προγνωστική ανάλυση (predictive analytics) επεκτείνει ακόμη περισσότερο αυτή τη δυναμική. Μέσα από την παρακολούθηση δεικτών εμπλοκής ή επίδοσης, μπορεί να εντοπίσει έγκαιρα σημάδια μαθησιακής δυσκολίας, χαμηλού κινήτρου ή επικείμενης αποτυχίας. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται στον εκπαιδευτικό η δυνατότητα να επέμβει προληπτικά, πριν το πρόβλημα παγιωθεί (Pardos et al., 2021). Έτσι, η διδασκαλία μεταβαίνει από ένα παραδοσιακό, αντιδραστικό μοντέλο σε ένα προληπτικό παιδαγωγικό πλαίσιο, όπου οι παρεμβάσεις σχεδιάζονται εγκαίρως και εξατομικεύονται ανάλογα με το προφίλ του μαθητή.

Πέρα όμως από την τεχνολογική διάσταση, η αξία των learning analytics βρίσκεται και στη συνεργασία ανθρώπου και μηχανής. Τα δεδομένα δεν αντικαθιστούν την παιδαγωγική κρίση του εκπαιδευτικού, αλλά λειτουργούν ως εργαλείο ενίσχυσης της διδασκαλίας, δίνοντάς του τη δυνατότητα να βλέπει «πίσω από τα νούμερα» και να κατανοεί βαθύτερα τις ανάγκες των μαθητών του. Η τεχνητή νοημοσύνη, επομένως, δεν έρχεται να αντικαταστήσει τον δάσκαλο, αλλά να τον ενδυναμώσει με νέες γνώσεις και προοπτικές για τη βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας.



Εικόνα 6. Η διαδικασία των learning analytics στην εκπαίδευση.

Πηγή: Ifenthaler, D., & Yau, J. (2020). Utilising learning analytics to support study success.

3.2.3 Προσομοιώσεις και εικονικά εργαστήρια

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει φέρει επανάσταση και στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουμε τη πειραματική διδασκαλία, μέσα από την ανάπτυξη ευφώνων εικονικών εργαστηρίων (intelligent virtual labs). Πρόκειται για ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης όπου οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με εργαλεία, όργανα και ουσίες σε προσομοιωμένες συνθήκες, πραγματοποιώντας πειράματα με ασφάλεια και ακρίβεια. Τα συστήματα αυτά δεν είναι απλές προσομοιώσεις· αξιοποιούν αλγόριθμους GenAI για να προσαρμόζουν δυναμικά το επίπεδο

δυσκολίας, να παρέχουν καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο και να αξιολογούν αυτόματα τις ενέργειες και τις επιλογές του μαθητή (Makransky et al., 2020).

Η σημασία αυτής της προσέγγισης είναι ιδιαίτερα έντονη στη διδασκαλία της Χημείας, ενός αντικειμένου που στηρίζεται στον πειραματισμό αλλά συχνά περιορίζεται από πρακτικούς παράγοντες — όπως το κόστος αντιδραστηρίων, οι περιορισμοί ασφαλείας ή η έλλειψη εξοπλισμού. Μέσα από τα εικονικά εργαστήρια, οι μαθητές μπορούν να διερευνήσουν φαινόμενα που θα ήταν δύσκολο ή επικίνδυνο να εκτελεστούν σε πραγματικές συνθήκες (De Jong & van Joolingen, 1998). Έτσι, το σχολικό εργαστήριο επεκτείνεται ψηφιακά, προσφέροντας έναν χώρο απεριόριστων δοκιμών χωρίς ρίσκο και με δυνατότητα επανάληψης, κάτι που ενισχύει σημαντικά τη διαδικασία κατανόησης και αναστοχασμού.

Για παράδειγμα, ένας μαθητής μπορεί να «πειραματιστεί» με τη μεταβολή της θερμοκρασίας και να παρατηρήσει, σε εικονικό επίπεδο, πώς αυτή επηρεάζει την ταχύτητα μιας χημικής αντίδρασης, βλέποντας τα μόρια να κινούνται γρηγορότερα και να συγκρούονται συχνότερα. Αντίστοιχα, μπορεί να παρακολουθήσει τη διάσπαση δεσμών και την αναδιάταξη ατόμων κατά τη διάρκεια μιας ενδόθερμης διεργασίας, κατανοώντας εμπειρικά όσα θα ήταν δύσκολο να φανταστεί μόνο μέσα από το σχολικό εγχειρίδιο.

Η συμβολή της ΑΙ σε αυτό το πλαίσιο είναι διττή. Από τη μία πλευρά, λειτουργεί ως ευφυής καθοδηγητής, παρακολουθώντας τη δράση του μαθητή, υποδεικνύοντας επόμενα βήματα ή προτείνοντας διορθωτικές κινήσεις όταν ανιχνεύει σφάλματα ή παρανοήσεις. Από την άλλη, ενεργεί ως αναλυτής μαθησιακής συμπεριφοράς, συγκεντρώνοντας δεδομένα για το πώς ο μαθητής αλληλεπιδρά με το περιβάλλον, ποια λάθη επαναλαμβάνει και ποια στρατηγική μάθησης ακολουθεί. Έτσι, δημιουργείται ένας συνεχής κύκλος πειραματισμού, ανατροφοδότησης και αναστοχασμού, όπου η μάθηση δεν είναι πια μια γραμμική διαδικασία, αλλά μια δυναμική, προσωπική και βιωματική εμπειρία.

Η δύναμη των εικονικών εργαστηρίων έγκειται, τελικά, στην ικανότητά τους να γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης. Οι μαθητές δεν περιορίζονται πλέον στην παθητική απομνημόνευση τύπων ή κανόνων· συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της ανακάλυψης, αναπτύσσοντας επιστημονική σκέψη, δεξιότητες πειραματισμού και επίγνωση των αιτιακών σχέσεων που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα. Έτσι, η ΑΙ δεν λειτουργεί ως απλό τεχνολογικό βοήθημα, αλλά ως καταλύτης για τη μεταμόρφωση της μαθησιακής εμπειρίας σε μια βαθύτερη, πιο ουσιαστική και απολαυστική διαδικασία.

3.2.4 Συνεργατικά περιβάλλοντα μάθησης με GenAI

Η συνεργατική μάθηση αποτελεί έναν από τους πυλώνες της σύγχρονης παιδαγωγικής προσέγγισης και συνδέεται άρρηκτα με τη θεωρία του Vygotsky (1978), σύμφωνα με την οποία η γνώση οικοδομείται μέσα από τη κοινωνική αλληλεπίδραση και την από κοινού επίλυση προβλημάτων. Η μάθηση δεν είναι μια απομονωμένη, ατομική διαδικασία, αλλά ένα συλλογικό εγχείρημα, όπου οι μαθητές μαθαίνουν ο ένας από τον άλλον, ανταλλάσσοντας ιδέες, στρατηγικές και τρόπους σκέψης.

Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαδραματίσει καταλυτικό ρόλο ενισχύοντας την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα της συνεργασίας. Τα συστήματα AI έχουν πλέον τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να αναλύουν τη δυναμική των ομάδων, καταγράφοντας πώς συμβάλλει κάθε μέλος στη συζήτηση, αν υπάρχουν ανισοροπίες στη συμμετοχή ή φαινόμενα αποκλεισμού, και να παρέχουν έγκαιρη και στοχευμένη ανατροφοδότηση τόσο στους μαθητές όσο και στον εκπαιδευτικό (Holmes et al., 2022).

Για παράδειγμα, ένα ευφύες συνεργατικό περιβάλλον μπορεί να εντοπίσει ότι δύο μαθητές μονοπωλούν τη συζήτηση, ενώ ένας τρίτος παραμένει σιωπηλός. Το σύστημα μπορεί να παρέμβει ήπια, ενθαρρύνοντας την ενεργοποίηση όλων των μελών ή προτείνοντας εναλλαγή ρόλων ώστε να διατηρηθεί η ισοροπία. Με αυτόν τον τρόπο, η AI λειτουργεί ως “μεσολαβητής” ή “διευκολυντής” της συνεργασίας — όχι για να ελέγξει, αλλά για να ενδυναμώσει τη συμμετοχή και την ισοτιμία των φωνών μέσα στην ομάδα.

Η συμβολή της AI στη συνεργατική μάθηση είναι ιδιαίτερα εμφανής στα μαθήματα Χημείας και Φυσικών Επιστημών, όπου η ομαδική εργασία αποτελεί συχνά βασικό άξονα διδασκαλίας. Μέσα από ευφυή συνεργατικά περιβάλλοντα, οι μαθητές μπορούν να σχεδιάζουν πειράματα, να αναλύουν συλλογικά αποτελέσματα, να συγκρίνουν υποθέσεις και να συζητούν εναλλακτικές ερμηνείες των φαινομένων. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, η AI μπορεί να αναλύει το περιεχόμενο των διαλόγων, να αναγνωρίζει μοτίβα επιχειρηματολογίας και να προτείνει τρόπους βελτίωσης της επικοινωνίας ή της οργάνωσης της ομάδας.

Επιπλέον, η AI μπορεί να προσφέρει προσαρμοσμένη υποστήριξη ανάλογα με το είδος της συνεργασίας που αναπτύσσεται. Αν διαπιστώσει, για παράδειγμα, ότι η ομάδα παραμένει σε επιφανειακό επίπεδο περιγραφής, μπορεί να ενθαρρύνει βαθύτερη εννοιολογική διερεύνηση μέσω ερωτήσεων ή προκλήσεων. Αντίθετα, αν οι μαθητές φαίνεται να διαφωνούν έντονα, μπορεί να υποδείξει στρατηγικές συμβιβασμού ή να υπενθυμίσει τα κοινά σημεία. Έτσι, η AI δεν αντικαθιστά τον εκπαιδευτικό ρόλο του συντονιστή, αλλά λειτουργεί συμπληρωματικά,

παρέχοντας εργαλεία παρατήρησης και καθοδήγησης που διαφορετικά θα ήταν δύσκολο να εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο.

Τελικά, η ενσωμάτωση της ΑΙ στη συνεργατική μάθηση προωθεί ένα περιβάλλον αλληλεπίδρασης, ενσυναίσθησης και συλλογικής σκέψης. Οι μαθητές μαθαίνουν να διαπραγματεύονται, να επιχειρηματολογούν και να οικοδομούν κοινές γνώσεις μέσα σε ένα υποστηρικτικό πλαίσιο που ενισχύεται από την τεχνολογία. Η ΑΙ, με άλλα λόγια, συμβάλλει στη δημιουργία ενός νέου τύπου «κοινωνικού χώρου μάθησης» — όπου άνθρωποι και ευφυή συστήματα συνεργάζονται, όχι απλώς για τη μετάδοση γνώσης, αλλά για την κοινή της οικοδόμηση.

3.2.5 Καλλιέργεια δεξιοτήτων Τεχνητή Νοημοσύνη (AI literacy) στις Θετικές Επιστήμες

Στο πλαίσιο της εκπαίδευσης του 21ου αιώνα, η τεχνητή νοημοσύνη δεν αποτελεί απλώς ένα τεχνολογικό εργαλείο, αλλά έναν νέο αλφαριθμητισμό — έναν τρόπο σκέψης και κατανόησης του κόσμου. Η UNESCO (2022) υπογραμμίζει την ανάγκη καλλιέργειας της AI literacy, δηλαδή της ικανότητας των μαθητών να κατανοούν πώς λειτουργούν τα συστήματα GenAI, να τα ερμηνεύουν κριτικά και να τα χρησιμοποιούν με υπευθυνότητα και επίγνωση των κοινωνικών τους συνεπειών. Δεν αρκεί πλέον οι μαθητές να είναι απλοί χρήστες της τεχνολογίας· χρειάζεται να μπορούν να αντιλαμβάνονται τις αρχές, τους περιορισμούς και τις ηθικές διαστάσεις που διέπουν τη λειτουργία της.

Στις Θετικές Επιστήμες, και ειδικότερα στη διδασκαλία των μαθημάτων STEM, η έννοια αυτή αποκτά ουσιαστικό περιεχόμενο. Η μάθηση για την GenAI δεν περιορίζεται στη θεωρητική κατανόηση, αλλά εκδηλώνεται μέσα από δραστηριότητες διερεύνησης και δημιουργίας: οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιούν εργαλεία ΤΝ για να αναλύουν δεδομένα, να εντοπίζουν πρότυπα, να κάνουν προβλέψεις ή να κατασκευάζουν υποθέσεις που στηρίζονται σε πραγματικά επιστημονικά προβλήματα (Kong et al., 2023). Με αυτόν τον τρόπο, η GenAI μετατρέπεται από αντικείμενο μελέτης σε μέσο νοητικής ενδυνάμωσης, που ενισχύει την κριτική σκέψη, τη δημιουργικότητα και την επιχειρηματολογία.

Για παράδειγμα, σε ένα μάθημα Χημείας, οι μαθητές μπορούν να αξιοποιήσουν ένα απλό εργαλείο μηχανικής μάθησης για να ταξινομήσουν ουσίες με βάση τις ιδιότητές τους ή να προβλέψουν πώς μεταβάλλεται ο ρυθμός μιας αντίδρασης υπό διαφορετικές συνθήκες. Μέσα από τέτοιες δραστηριότητες, η GenAI παύει να είναι ένα «μαύρο κουτί» και γίνεται αντικείμενο κατανόησης, χειρισμού και, τελικά, κριτικού στοχασμού.

Η ένταξη της ΑΙ στη διδασκαλία των STEM μαθημάτων δεν αφορά, επομένως, μόνο τη μάθηση μέσω της ΑΙ (δηλαδή τη χρήση της ως εργαλείου υποστήριξης της διδασκαλίας), αλλά και τη μάθηση για την ΑΙ — την κατανόηση των αρχών και των εφαρμογών της. Αυτή η διττή διάσταση συμβάλλει στη διαμόρφωση ενεργών, κριτικά σκεπτόμενων πολιτών, ικανών να αξιολογούν τις τεχνολογικές εξελίξεις, να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να συμμετέχουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση του ψηφιακού μέλλοντος.

Η εκπαίδευση, μέσα από αυτή την οπτική, δεν στοχεύει μόνο στη μετάδοση γνώσεων, αλλά στη δημιουργία επίγνωσης: να μάθουν οι μαθητές πώς να συνυπάρχουν, να συνεργάζονται και να σκέφτονται υπεύθυνα σε έναν κόσμο όπου η ΑΙ είναι παντού παρούσα. Με τον τρόπο αυτό, η καλλιέργεια της ΑΙ literacy δεν είναι απλώς τεχνική δεξιότητα· είναι ένα νέο είδος ψηφιακού και κοινωνικού εγγραμματισμού, απαραίτητο για τη συμμετοχή στην κοινωνία της γνώσης και της καινοτομίας.

Τα τελευταία χρόνια, η διεθνής ερευνητική κοινότητα έχει στρέψει έντονα το ενδιαφέρον της στη διερεύνηση των παιδαγωγικών δυνατοτήτων της τεχνητής νοημοσύνης (ΑΙ) στο πεδίο της διδασκαλίας της Χημείας. Καθώς η Χημεία είναι ένα επιστημονικό αντικείμενο που συνδυάζει αφηρημένες έννοιες, ποσοτικές σχέσεις και πειραματική διερεύνηση, προσφέρει γόνιμο έδαφος για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ΑΙ. Οι ερευνητικές προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί διαφέρουν ως προς τη μεθοδολογία, τη χρήση τεχνολογικών εργαλείων και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα, ωστόσο συγκλίνουν σε ένα κοινό συμπέρασμα: ότι η ΑΙ μπορεί να ενισχύσει ουσιαστικά τη μάθηση, εφόσον εντάσσεται σε ένα παιδαγωγικά τεκμηριωμένο και ηθικά υπεύθυνο πλαίσιο.

3.3 Διεθνή παραδείγματα εφαρμογής της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει ενδεικτικά διεθνή παραδείγματα εφαρμογής της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας, οργανωμένα σε τρεις βασικές κατηγορίες: (α) ευφυή περιβάλλοντα μάθησης, (β) εικονικά εργαστήρια με GenAI, και (γ) τη χρήση μεγάλων γλωσσικών μοντέλων (LLMs) ως γνωστικών υποστηρικτών της μάθησης.

3.3.1 Ευφυή περιβάλλοντα μάθησης στη Χημεία

Ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της ΑΙ στη διδασκαλία της Χημείας είναι το SmartChem (Zhai et al., 2021). Το σύστημα αυτό αξιοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για να εντοπίζει αυτόματα λάθη που κάνουν οι μαθητές κατά τη συγγραφή

χημικών εξισώσεων ή στην κατανόηση θεμελιωδών εννοιών, όπως η χημική ισορροπία και οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Μέσα από εξατομικευμένη ανατροφοδότηση, οι μαθητές λαμβάνουν άμεσες επεξηγήσεις για τα λάθη τους, ενώ το σύστημα προσαρμόζει σταδιακά τη δυσκολία των ασκήσεων ανάλογα με την πρόοδό τους. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν σημαντική βελτίωση τόσο στην εννοιολογική κατανόηση όσο και στη διατήρηση γνώσης σε βάθος χρόνου.

Παράλληλα, το ChemCollective, μια ακόμη διεθνώς αναγνωρισμένη πλατφόρμα, αποτελεί παράδειγμα συνδυασμού εικονικών πειραμάτων με ευφυή ανατροφοδότηση. Οι μαθητές εκτελούν εικονικά πειράματα, επιλέγοντας αντιδραστήρια, συνθήκες και μετρήσεις, ενώ η GenAI καταγράφει τα βήματά τους και αναλύει τη συλλογιστική τους σε πραγματικό χρόνο (Holmes et al., 2022). Αν εντοπιστούν λανθασμένες υποθέσεις ή παρανοήσεις, το σύστημα επεμβαίνει παρέχοντας προτάσεις και διορθωτικές ενδείξεις. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές μπορούν να «μαθαίνουν από τα λάθη τους» με ασφαλή και ελεγχόμενο τρόπο, ενώ παράλληλα καλλιεργούν δεξιότητες επιστημονικού συλλογισμού. Τα ευφυή αυτά περιβάλλοντα δεν αντικαθιστούν τον εκπαιδευτικό· αντίθετα, τον ενδυναμώνουν, παρέχοντάς του αναλυτικά δεδομένα σχετικά με τη μαθησιακή πορεία κάθε μαθητή, ώστε να σχεδιάζει πιο στοχευμένες παρεμβάσεις.

3.3.2 Εικονικά εργαστήρια με GenAI

Η έρευνα των Makransky et al. (2020) έδειξε ότι η χρήση εικονικής πραγματικότητας (VR) σε συνδυασμό με στοιχεία GenAI προσφέρει νέα διάσταση στη διδασκαλία της Χημείας, καθιστώντας τη μάθηση πιο βιωματική και εμπυθιστική. Οι μαθητές συμμετείχαν σε εικονικά πειράματα για τη μελέτη θερμικών αντιδράσεων, όπου μπορούσαν να παρατηρήσουν σε τρισδιάστατο περιβάλλον τις ενεργειακές μεταβολές και τη συμπεριφορά των μορίων. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ενίσχυση της μαθησιακής εμπλοκής και βελτίωση της μεταγνωστικής επίγνωσης, δηλαδή της ικανότητας των μαθητών να αναστοχάζονται για τον τρόπο που μαθαίνουν.

Σε παρόμοια κατεύθυνση κινήθηκε η μελέτη των Lu et al. (2022), όπου η GenAI χρησιμοποιήθηκε για να προσαρμόζει δυναμικά τη δυσκολία των πειραμάτων στη Χημεία, ανάλογα με την απόδοση και τις ενέργειες του μαθητή. Το σύστημα παρείχε καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο, προτείνοντας κατάλληλες ρυθμίσεις θερμοκρασίας, συγκεντρώσεων ή όγκου, ανάλογα με το πείραμα. Οι μαθητές ανέφεραν αυξημένα επίπεδα αυτονομίας, ενδιαφέροντος και ικανοποίησης από τη διαδικασία μάθησης.

Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών ενισχύουν την άποψη ότι τα εικονικά εργαστήρια με ενσωματωμένη GenAI δεν αποτελούν απλώς τεχνολογικές καινοτομίες, αλλά νέα μαθησιακά περιβάλλοντα που προωθούν τη διερευνητική σκέψη, τη δεξιότητα πειραματισμού και τη σύνδεση θεωρίας–πράξης.

3.3.3 Χρήση μεγάλων γλωσσικών μοντέλων (LLMs)

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη στις εφαρμογές της GenAI στην εκπαίδευση είναι η εμφάνιση των μεγάλων γλωσσικών μοντέλων (Large Language Models – LLMs), όπως το ChatGPT, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως γνωστικοί συνομιλητές στη μαθησιακή διαδικασία. Οι Kasneci et al. (2023) επισημαίνουν ότι τα LLMs διαθέτουν τη δυνατότητα να παρέχουν εξηγήσεις, αναλογίες, παραδείγματα ή εναλλακτικές διατυπώσεις που βοηθούν τον μαθητή να κατανοήσει σύνθετες χημικές έννοιες. Για παράδειγμα, ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να εξηγήσει την έννοια της ηλεκτρικότητας μέσα από παραδείγματα ή συγκρίσεις που προσαρμόζονται στο επίπεδο του μαθητή.

Ωστόσο, οι ερευνητές τονίζουν ότι τα LLMs ενδέχεται να παράγουν λανθασμένες ή παραπλανητικές πληροφορίες, γι' αυτό είναι αναγκαία η κριτική επίβλεψη του εκπαιδευτικού. Η ανθρώπινη παρέμβαση παραμένει κρίσιμη, όχι μόνο για τον έλεγχο της εγκυρότητας των απαντήσεων, αλλά και για την ανάπτυξη της κριτικής παιδείας στην Τεχνητή Νοημοσύνη (AI literacy), που επιτρέπει στους μαθητές να αξιολογούν και να επαληθεύουν τις πληροφορίες που λαμβάνουν.

Μια πρόσφατη πιλοτική μελέτη στο Πανεπιστήμιο του Michigan (2024) διερεύνησε τη χρήση του ChatGPT ως εργαλείου υποστήριξης στη συγγραφή εργαστηριακών αναφορών στη Χημεία. Οι φοιτητές που χρησιμοποίησαν το εργαλείο με σαφείς παιδαγωγικές οδηγίες παράγααν πιο συνεκτικά, πλήρη και επιστημονικά δομημένα κείμενα, γεγονός που καταδεικνύει ότι, όταν η χρήση των LLMs πλαισιώνεται από κατάλληλη καθοδήγηση, μπορεί να λειτουργήσει ως ενισχυτής της μάθησης και όχι ως απλή ευκολία παραγωγής κειμένου.

Η αξιοποίηση των LLMs στη διδασκαλία της Χημείας ανοίγει νέους ορίζοντες για την προσωποποιημένη υποστήριξη των μαθητών, αλλά παράλληλα εγείρει σημαντικά ερωτήματα για την αυθεντικότητα της μάθησης, την αξιοπιστία των πληροφοριών και την ανάγκη ανάπτυξης δεοντολογικού πλαισίου χρήσης τους στην εκπαίδευση.

Συνολική σύνδεση των διεθνών ερευνητικών προσεγγίσεων

Οι παραπάνω ερευνητικές προσεγγίσεις αναδεικνύουν τη συνεχή εξέλιξη και πολυμορφία των τρόπων με τους οποίους η GenAI ενσωματώνεται στη διδασκαλία της Χημείας. Από τα ευφυή περιβάλλοντα μάθησης και τα εικονικά εργαστήρια, έως τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα, γίνεται σαφές ότι η GenAI μπορεί να συμβάλει τόσο στη διεύρυνση της πρόσβασης στη γνώση, όσο και στην ενίσχυση των δεξιοτήτων κατανόησης, διερεύνησης και αναστοχασμού των μαθητών. Η επιτυχία όμως αυτών των εφαρμογών εξαρτάται από το πώς θα πλαισιωθούν παιδαγωγικά, ηθικά και κριτικά. Η GenAI δεν μπορεί να υποκαταστήσει τον ρόλο του εκπαιδευτικού· μπορεί, ωστόσο, να λειτουργήσει ως συνεργάτης στη μαθησιακή διαδικασία, προσφέροντας νέα μέσα για την υποστήριξη της γνώσης και την καλλιέργεια της επιστημονικής σκέψης. Με αυτόν τον τρόπο, η διδασκαλία της Χημείας ανανεώνεται και μετατρέπεται σε ένα δυναμικό και προσαρμοστικό οικοσύστημα μάθησης, όπου άνθρωποι και μηχανές συνεργάζονται για τη δημιουργία νοήματος και κατανόησης.

3.3.4 Μοντελοποίηση μορίων και υπολογιστική Χημεία με GenAI

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει διεισδύσει δυναμικά και στον τομέα της υπολογιστικής Χημείας, προσφέροντας νέες προοπτικές τόσο στην επιστημονική έρευνα όσο και στη διδασκαλία. Η υπολογιστική Χημεία βασίζεται στη χρήση μαθηματικών και υπολογιστικών μοντέλων για την περιγραφή και πρόβλεψη της συμπεριφοράς των μορίων και των χημικών αντιδράσεων. Με την ενσωμάτωση της GenAI, τα εργαλεία αυτά αποκτούν ευφυή ικανότητα μάθησης και πρόβλεψης, επεκτείνοντας τα όριά τους πέρα από την απλή προσομοίωση (Von Lilienfeld et al., 2020). Ενδεικτικά, πλατφόρμες όπως το Molecule AI και το ChemAI αξιοποιούν αλγορίθμους βαθιάς μάθησης (deep learning) για την πρόβλεψη μοριακών ιδιοτήτων, την εκτίμηση ενεργειών δεσμών, τη σταθερότητα ενώσεων ή την προσομοίωση πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων. Μέσα από τη συνεχή ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων, τα συστήματα αυτά μπορούν να «μαθαίνουν» από υπάρχουσες χημικές δομές και να προβλέπουν τη συμπεριφορά νέων, άγνωστων ενώσεων με εντυπωσιακή ακρίβεια.

Σε εκπαιδευτικό επίπεδο, η συμβολή αυτών των εργαλείων είναι εξίσου ουσιαστική. Μέσω δυναμικής τρισδιάστατης απεικόνισης, οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν πώς μεταβάλλεται η γεωμετρία ενός μορίου, να εξετάσουν τη σχέση μεταξύ μοριακής δομής και φυσικοχημικών ιδιοτήτων ή να πειραματιστούν με εικονικές τροποποιήσεις δεσμών και γωνιών. Έτσι, έννοιες που συχνά δυσκολεύουν τους μαθητές —όπως η πολικότητα, η

υβριδοποίηση ή η χωρική διάταξη των ατόμων— αποκτούν οπτικό και βιωματικό χαρακτήρα, ενισχύοντας την εννοιολογική κατανόηση.

Τα περιβάλλοντα αυτά επιτρέπουν τη μετάβαση από τη στατική αναπαράσταση (όπως τα σχήματα των σχολικών εγχειριδίων) σε μια ενεργή εξερεύνηση του μικρόκοσμου, όπου οι μαθητές γίνονται «ερευνητές» που δοκιμάζουν, προβλέπουν και ελέγχουν υποθέσεις. Με αυτόν τον τρόπο, η υπολογιστική Χημεία με GenAI συμβάλλει στη διαμόρφωση μιας διερευνητικής και ανακαλυπτικής μάθησης, συνδέοντας τη θεωρητική γνώση με την πρακτική κατανόηση.

3.3.5 Αυτόματη αξιολόγηση και ανατροφοδότηση

Ένας ακόμη τομέας όπου η GenAI επιδεικνύει σημαντική δυναμική είναι η αυτόματη αξιολόγηση και παροχή ανατροφοδότησης. Η αξιολόγηση αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της μαθησιακής διαδικασίας, ωστόσο στις φυσικές επιστήμες συχνά απαιτείται ανάλυση ανοιχτών απαντήσεων, ελεύθερων συλλογισμών ή πειραματικών περιγραφών – κάτι που είναι δύσκολο να γίνει με μηχανικό τρόπο. Η GenAI έρχεται να καλύψει αυτό το κενό, επιτρέποντας ανάλυση νοήματος, αναγνώριση παρανοήσεων και διαγνωστική υποστήριξη του μαθητή.

Οι Pardos et al. (2021) ανέπτυξαν ένα σύστημα που αναλύει τις απαντήσεις μαθητών στη Χημεία και αναγνωρίζει μοτίβα λανθασμένων αντιλήψεων, όπως η σύγχυση ανάμεσα σε μάζα και όγκο ή η εσφαλμένη ερμηνεία του νόμου διατήρησης της ύλης. Το σύστημα δεν περιορίζεται στην καταγραφή σφαλμάτων, αλλά παρέχει προσωποποιημένη ανατροφοδότηση, προτείνοντας στοχευμένες δραστηριότητες ή επεξηγήσεις που αντιμετωπίζουν τις συγκεκριμένες παρανοήσεις.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η χρήση τέτοιων εργαλείων οδήγησε σε σημαντική βελτίωση της κατανόησης των βασικών εννοιών, επιβεβαιώνοντας πως η GenAI μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο διαγνωστικής αξιολόγησης και όχι απλώς ως μηχανισμός βαθμολόγησης.

Η ουσία δεν βρίσκεται στην αντικατάσταση του εκπαιδευτικού, αλλά στην ενίσχυση της παιδαγωγικής του κρίσης, παρέχοντάς του πλούσια δεδομένα για την πορεία και τις ανάγκες κάθε μαθητή. Η αυτόματη ανατροφοδότηση, όταν χρησιμοποιείται με υπευθυνότητα, επιτρέπει στους μαθητές να μαθαίνουν άμεσα από τα λάθη τους, να αναπτύσσουν δεξιότητες αυτορρύθμισης και να συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο, η GenAI μετασχηματίζει την αξιολόγηση από μια στατική, τελική διαδικασία σε ένα συνεχές, διαμορφωτικό εργαλείο μάθησης.

3.3.6 Συνοπτικά συμπεράσματα ερευνών 2018–2025

Η ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας για την περίοδο 2018–2025 καταδεικνύει ότι η τεχνητή νοημοσύνη έχει πλέον εδραιωθεί ως πολυδιάστατο εργαλείο υποστήριξης της διδασκαλίας της Χημείας. Παρά τις διαφορετικές τεχνολογικές και μεθοδολογικές προσεγγίσεις, τα αποτελέσματα των ερευνών συγκλίνουν στα εξής βασικά σημεία:

- Η GenAI ενισχύει την κατανόηση σύνθετων εννοιών μέσα από προσομιώσεις, οπτικοποιήσεις και δυναμική μοντελοποίηση.
- Υποστηρίζει την εξατομίκευση και τη διαφοροποιημένη διδασκαλία, επιτρέποντας στους μαθητές να μαθαίνουν με ρυθμό και τρόπο που ανταποκρίνεται στις ανάγκες τους.
- Καλλιεργεί δεξιότητες έρευνας και μεταγνώσης, προωθώντας την αναστοχαστική και αυτορρυθμιζόμενη μάθηση.
- Απαιτεί, ωστόσο, υψηλό επίπεδο παιδαγωγικού ελέγχου, δεοντολογικής επίβλεψης και κριτικής χρήσης από τον εκπαιδευτικό, ώστε να αποφευχθεί η μηχανιστική ή άκριτη εφαρμογή της.

Όπως τονίζουν οι Holmes et al. (2022), το πραγματικό όφελος της GenAI στην εκπαίδευση δεν έγκειται στην αυτοματοποίηση της διδασκαλίας ή της αξιολόγησης, αλλά στη συνύπαρξη της ανθρώπινης και της τεχνητής νοημοσύνης. Η δημιουργική αυτή συνεργασία μπορεί να παράγει πλουσιότερες, πιο προσαρμοστικές και ουσιαστικές μαθησιακές εμπειρίες, όπου η τεχνολογία λειτουργεί ως συμπληρωματικός εταίρος στην προσπάθεια κατανόησης και ανακάλυψης της γνώσης.

Η συνολική εικόνα των ερευνών αποκαλύπτει μια μετατόπιση της εκπαιδευτικής πρακτικής προς πιο εξατομικευμένα, διερευνητικά και αναστοχαστικά μοντέλα μάθησης, στα οποία η GenAI δεν αντικαθιστά τον άνθρωπο, αλλά τον υποστηρίζει στο έργο της μάθησης και της διδασκαλίας. Η πρόκληση για τα επόμενα χρόνια έγκειται στο πώς η εκπαιδευτική κοινότητα θα αξιοποιήσει αυτό το δυναμικό με κριτική σκέψη, παιδαγωγική ευαισθησία και ηθική υπευθυνότητα. Στον Πίνακα 3. παρουσιάζονται συνοπτικές πληροφορίες για την χρήση των συστημάτων που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 3.3.

Πίνακας 3. Ενδεικτικά έργα και τα κύρια μαθησιακά τους οφέλη.

Περιοχή εφαρμογής	Ενδεικτικά έργα/μελέτες	Κύρια ευρήματα
Ευφυή συστήματα (ITS)	SmartChem (Zhai et al., 2021)	Εξατομικευμένη ανατροφοδότηση, μείωση παρανοήσεων

Εικονικά εργαστήρια	Labster (Makransky et al., 2020)	Βελτίωση κατανόησης και εμπλοκής
LLMs (ChatGPT κ.ά.)	Kasneci et al. (2023), Michigan (2024)	Ποιοτική έκφραση, ανάγκη κριτικής χρήσης
Μοντελοποίηση μορίων	Von Lilienfeld et al. (2020)	Νοερή απεικόνιση, σύνδεση μορφής-λειτουργίας
Αυτόματη αξιολόγηση	Pardos et al. (2021)	Αποτελεσματική ανατροφοδότηση, εξοικονόμηση χρόνου

3.4 Παιδαγωγικές στρατηγικές αξιοποίησης της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας

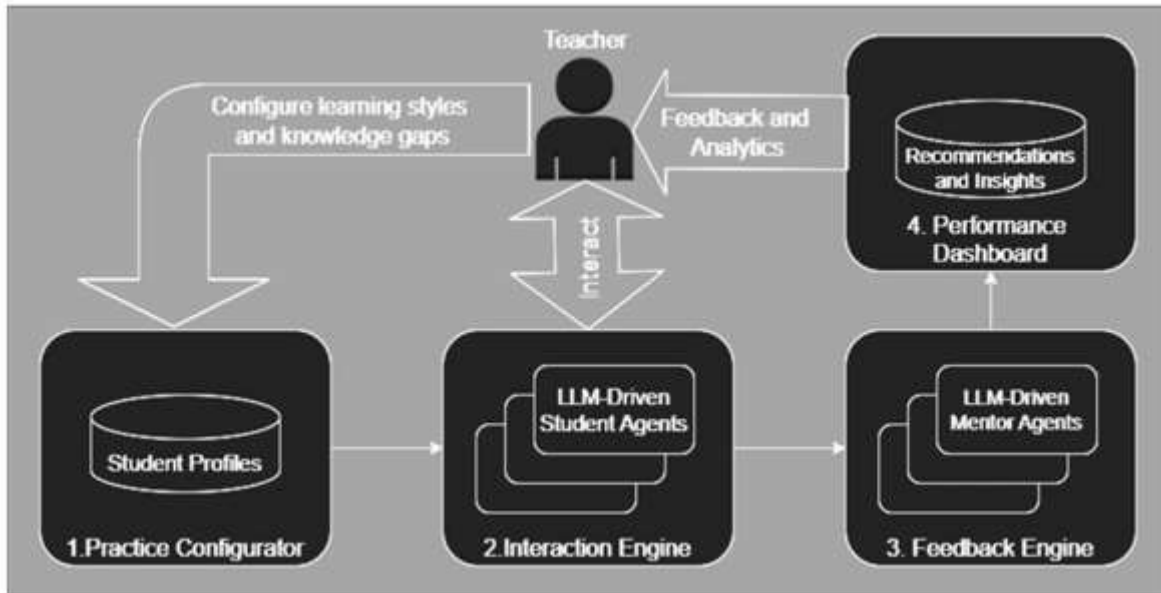
Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διδασκαλία της Χημείας δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική καινοτομία, αλλά μια αναδιάρθρωση του μαθησιακού οικοσυστήματος. Για να αποδώσει παιδαγωγικά, η GenAI πρέπει να ενταχθεί σε πλαίσιο που εναρμονίζει τεχνολογία – παιδαγωγική – περιεχόμενο (TPACK· Mishra & Koehler, 2006) και να υποστηρίζει σύγχρονες θεωρίες μάθησης: διερευνητική, κonstrουκτιβιστική και κοινωνικοπολιτισμική.

Στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, οι μαθητές Χημείας δεν αρκεί να απομνημονεύουν τύπους· χρειάζονται εννοιολογική κατανόηση, ικανότητα σύνδεσης μακροσκοπικών, μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων (Johnstone, 1993). Η GenAI μπορεί να λειτουργήσει ως γνωστικός συνεργάτης και διδακτικός μεσολαβητής (Luckin et al., 2019), βοηθώντας τον μαθητή να «δει» τη χημική διεργασία και να οικοδομήσει βαθύτερη κατανόηση.

3.4.1 Διερευνητική μάθηση με υποστήριξη GenAI

Η διερευνητική μάθηση (Inquiry-Based Learning) αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές παιδαγωγικές προσεγγίσεις για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, καθώς ενθαρρύνει τους μαθητές να μαθαίνουν ενεργά μέσα από παρατήρηση, διατύπωση υποθέσεων, πειραματισμό και αναστοχασμό (De Jong & van Joolingen, 1998). Αντί να δέχονται τη γνώση παθητικά, οι μαθητές αναλαμβάνουν ρόλο «μικρών ερευνητών», που διερευνούν, αναρωτιούνται και εξάγουν συμπεράσματα με βάση τα δεδομένα που οι ίδιοι συλλέγουν. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ενισχύσει καθοριστικά αυτή τη διαδικασία, προσφέροντας εξατομικευμένη ανατροφοδότηση, δυναμική καθοδήγηση και αυτοματοποιημένη υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο. Μέσω εργαλείων που «μαθαίνουν» από τις ενέργειες του μαθητή, η GenAI μπορεί να προσαρμόζει το ρυθμό, το είδος και τη δυσκολία των δραστηριοτήτων,

δημιουργώντας έτσι ένα ευέλικτο και προσωποποιημένο περιβάλλον διερεύνησης. Η αξιοποίηση της Generative AI στη μαθησιακή διαδικασία μπορεί να περιγραφεί ως μια διαδοχική διαδικασία αλληλεπίδρασης μεταξύ μαθητή, τεχνητής νοημοσύνης και μαθησιακού περιβάλλοντος. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Διαδικασία αξιοποίησης της Generative AI στη μαθησιακή διαδικασία.

Πηγή: Luckin, R. et al. (2016). *Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education*.

Παράδειγμα διδακτικού σεναρίου (Α' Λυκείου – Θέμα: Αντιδράσεις Οξειδωσης–Αναγωγής):

1. Οι μαθητές εργάζονται σε ένα εικονικό εργαστήριο GenAI (π.χ. Labster), όπου μεταβάλλουν τις συγκεντρώσεις αντιδρώντων και παρακολουθούν πώς αλλάζει η ισορροπία της αντίδρασης.
2. Το σύστημα αναλύει τις ενέργειες του μαθητή, εντοπίζει σφάλματα στον υπολογισμό βαθμών οξειδωσης και παρέχει εξατομικευμένα σχόλια, όπως:
3. «Παρατήρησε πώς μεταβάλλεται το δυναμικό... Μήπως έχεις παραλείψει το ιόν Cl^- ;»
4. Ένα chatbot TN αναλαμβάνει ρόλο «ψηφιακού μέντορα», καθοδηγώντας τον μαθητή να εξηγήσει με δικά του λόγια τα αποτελέσματα, ενισχύοντας έτσι τη μεταγνωστική του ικανότητα και την επιστημονική του επιχειρηματολογία.
5. Μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας, το σύστημα δημιουργεί προσαρμοσμένο τεστ, εστιάζοντας στις έννοιες όπου παρατηρήθηκαν δυσκολίες.

Έρευνες δείχνουν ότι τέτοια περιβάλλοντα αυξάνουν σημαντικά την εννοιολογική κατανόηση, την ενεργό εμπλοκή και την ικανότητα επιχειρηματολογίας των μαθητών στις φυσικές επιστήμες (Makransky et al., 2020). Επιπλέον, ενισχύουν την αυτορρύθμιση και την

περιέργεια, καθώς οι μαθητές μαθαίνουν να ελέγχουν τις υποθέσεις τους, να αξιολογούν τα αποτελέσματά τους και να προσαρμόζουν τη στρατηγική τους.

Ο ρόλος του εκπαιδευτικού μεταβάλλεται ουσιαστικά: από «φορέας γνώσης» μετατρέπεται σε καθοδηγητή της διερεύνησης, που χρησιμοποιεί τα δεδομένα που παρέχει η GenAI (learning analytics) για να εντοπίζει πού χρειάζεται υποστήριξη κάθε μαθητής ή ομάδα. Με αυτόν τον τρόπο, η GenAI δεν αντικαθιστά τον δάσκαλο, αλλά λειτουργεί ως σύμμαχος στην ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης, βοηθώντας τον να παρέχει πιο στοχευμένη και αποτελεσματική διδασκαλία.

3.4.2 Ανεστραμμένη τάξη με προσαρμοστικά περιβάλλοντα

Η ανεστραμμένη τάξη (flipped classroom) αποτελεί μια καινοτόμο παιδαγωγική προσέγγιση που αντιστρέφει τη συμβατική δομή του μαθήματος: η θεωρητική διδασκαλία μεταφέρεται εκτός τάξης (μέσω βίντεο ή ψηφιακού υλικού), ενώ ο χρόνος της δια ζώσης διδασκαλίας αφιερώνεται στη συνεργασία, τη συζήτηση και την επίλυση προβλημάτων. Η τεχνητή νοημοσύνη ενισχύει αυτό το μοντέλο, μετατρέποντάς το σε προσαρμοστική μαθησιακή εμπειρία, όπου κάθε μαθητής ακολουθεί τη δική του διαδρομή κατανόησης (Bishop & Verleger, 2013· Ifenthaler & Yau, 2020).

Πρακτική εφαρμογή (Γ' Λυκείου – Θέμα: Ισορροπία Χημικών Αντιδράσεων):

- Πριν το μάθημα: Οι μαθητές μελετούν σύντομα βίντεο επεξήγησης που δημιουργούνται από εργαλεία AI, τα οποία αξιοποιούν φυσική γλώσσα και διαδραστικά γραφήματα για να παρουσιάσουν την αρχή του Le Châtelier. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εντοπίζουν τμήματα του περιεχομένου που ο μαθητής δεν έχει κατανοήσει πλήρως, προσφέροντας επιπλέον παραδείγματα ή εναλλακτικές διατυπώσεις.
- Κατά τη διάρκεια της μελέτης: Η AI αναλύει τις απαντήσεις των μαθητών σε μικρά quiz αυτοαξιολόγησης και τους κατατάσσει σε επίπεδα κατανόησης. Έτσι, όταν φτάνουν στην τάξη, ο εκπαιδευτικός έχει ήδη μια σαφή εικόνα των αναγκών και των ελλείψεων κάθε μαθητή ή ομάδας.
- Κατά το μάθημα: Οι μαθητές εργάζονται συνεργατικά πάνω σε πειραματικά σενάρια, διερευνώντας πώς επηρεάζουν την ισορροπία μεταβολές στη συγκέντρωση, την πίεση ή τη θερμοκρασία. Ο εκπαιδευτικός, αξιοποιώντας τα learning analytics που του παρέχει η AI, καθοδηγεί τη συζήτηση, παρέχει πρόσθετες εξηγήσεις και ενισχύει τη συνεργατική σκέψη.

Η έρευνα έχει δείξει ότι αυτό το μοντέλο ενισχύει την αυτορρύθμιση, την κριτική σκέψη και την ενεργή συμμετοχή των μαθητών (Bishop & Verleger, 2013). Οι μαθητές δεν παρακολουθούν παθητικά, αλλά συμμετέχουν ενεργά στην οικοδόμηση της γνώσης, ενώ η ΑΙ λειτουργεί ως “αόρατος ενορχηστρωτής” της μαθησιακής διαδικασίας — παρακολουθεί, προσαρμόζει και συντονίζει τις δραστηριότητες με τρόπο που δεν αποσπά την προσοχή από το παιδαγωγικό περιεχόμενο.

Η ανεστραμμένη τάξη με προσαρμοστικά περιβάλλοντα ΑΙ συνδυάζει την ευελιξία της τεχνολογίας με την ανθρώπινη διάσταση της διδασκαλίας. Ο εκπαιδευτικός διατηρεί τον ρόλο του ως καθοδηγητή, εμπνευστή και αξιολογητή, ενώ η ΑΙ λειτουργεί στο παρασκήνιο ως εργαλείο εξατομίκευσης και ενίσχυσης της μαθησιακής εμπειρίας. Έτσι, η τάξη μετατρέπεται σε χώρο ενεργού διαλόγου και δημιουργικής μάθησης, όπου η τεχνολογία δεν αντικαθιστά τον άνθρωπο, αλλά τον ενδυναμώνει.

3.4.3 Συνεργατική και κοινωνικοπολιτισμική μάθηση με ΑΙ

Η κοινωνικοπολιτισμική θεωρία του Vygotsky (1978) υποστηρίζει ότι η μάθηση δεν είναι μια ατομική διαδικασία, αλλά μια κοινωνική δραστηριότητα που συντελείται μέσα από τη συνεργασία, τη γλώσσα και την αλληλεπίδραση. Μέσα από τη «ζώνη επικείμενης ανάπτυξης» (Zone of Proximal Development), οι μαθητές μαθαίνουν όταν αλληλεπιδρούν με άλλους — συμμαθητές ή εκπαιδευτικούς — και οικοδομούν από κοινού τη γνώση.

Στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας, όπου η επιχειρηματολογία, η ανταλλαγή ιδεών και η ερμηνεία πειραματικών δεδομένων αποτελούν βασικά στοιχεία, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην υποστήριξη συνεργατικών μαθησιακών δραστηριοτήτων. Πλατφόρμες όπως το Co-Lab AI επιτρέπουν στους μαθητές να εργάζονται σε κοινά πειραματικά σχέδια ή αναλύσεις δεδομένων, ενώ η ΑΙ παρακολουθεί τη συμμετοχή κάθε μέλους, αναγνωρίζει ανισορροπίες στη συμβολή και παρέχει έξυπνες ειδοποιήσεις και καθοδήγηση. Για παράδειγμα, μπορεί να επισημάνει:

«Η ομάδα σου έχει εστιάσει υπερβολικά στο πείραμα Α. Θες να διερευνήσεις και το πείραμα Β για πιο πλήρη σύγκριση;»

Με αυτόν τον τρόπο, η ΑΙ λειτουργεί ως διαμεσολαβητής της συνεργασίας, βοηθώντας τους μαθητές να αναγνωρίσουν πώς συνεργάζονται, να κατανείμουν αρμοδιότητες και να διατηρούν ισορροπία στην ομαδική εργασία. Τέτοιες δραστηριότητες ενισχύουν την επικοινωνία, την κοινωνική υπευθυνότητα, την αμοιβαία υποστήριξη και τη συν-οικοδόμηση της γνώσης, μετατρέποντας τη διδασκαλία της Χημείας σε μια συλλογική διαδικασία μάθησης (Holmes et

al., 2022). Η συνύπαρξη ΑΙ και συνεργατικής μάθησης προσφέρει ένα πλαίσιο όπου η τεχνολογία δεν αντικαθιστά τη διαπροσωπική αλληλεπίδραση, αλλά την ενισχύει, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου ο μαθητής μαθαίνει τόσο με τους άλλους όσο και για τους άλλους.

3.4.4 Οπτικοποίηση, εννοιολογικοί χάρτες και πολυτροπική μάθηση με GenAI

Η οπτικοποίηση αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο στη διδασκαλία της Χημείας, καθώς οι μαθητές καλούνται να κατανοήσουν φαινόμενα που δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμα. Η μετάβαση από το μακροσκοπικό επίπεδο (όσα βλέπουμε στο εργαστήριο) στο μικροσκοπικό (ατομικές και μοριακές διεργασίες) συχνά δημιουργεί γνωστικά χάσματα, τα οποία η ΑΙ μπορεί να γεφυρώσει μέσα από δυναμικές απεικονίσεις και πολυτροπικά περιβάλλοντα μάθησης (Taber, 2018).

Εργαλεία όπως το Molecule AI ή το ChemSense χρησιμοποιούν αλγορίθμους ΑΙ για να μετατρέπουν λεκτικές περιγραφές των μαθητών σε τρισδιάστατα μοντέλα. Έτσι, ένας μαθητής που περιγράφει π.χ. τη μεταβολή της γεωμετρίας ενός μορίου κατά τη διάρκεια μιας αντίδρασης, μπορεί να «δει» σε πραγματικό χρόνο την αναδιάταξη των δεσμών και την αλλαγή ενέργειας. Αυτή η οπτική και διαδραστική αναπαράσταση καθιστά τη μάθηση πιο βιωματική και επιτρέπει στους μαθητές να αναπτύξουν βαθύτερη κατανόηση των εννοιών της Χημείας.

Παράλληλα, τα συστήματα ΑΙ μπορούν να δημιουργούν αυτόματα εννοιολογικούς χάρτες, αναλύοντας τις απαντήσεις ή τα κείμενα των μαθητών και συνδέοντας τις βασικές έννοιες που αναδύονται. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στους μαθητές να αναστοχάζονται πάνω στη δομή της γνώσης τους, να εντοπίζουν ελλείψεις ή παρανοήσεις και να αναδομούν το νοητικό τους πλαίσιο (Novak & Cañas, 2008).

Η συνδυαστική χρήση οπτικοποίησης, διαδραστικών γραφημάτων, προσομοιώσεων και εννοιολογικών χαρτών οδηγεί σε μια πολυτροπική μάθηση, όπου η γνώση οικοδομείται μέσα από πολλαπλά μέσα έκφρασης και αναπαράστασης. Η GenAI καθιστά αυτή τη διαδικασία προσαρμοστική και εξατομικευμένη, βοηθώντας τον μαθητή να συνδέσει εικόνες, λέξεις και έννοιες με τρόπο νοηματικό και δημιουργικό.

3.4.5 Δημιουργική μάθηση και παραγωγή περιεχομένου με GenAI

Η εμφάνιση των παραγωγικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης (Generative AI), όπως τα συστήματα που παράγουν κείμενο, εικόνα ή βίντεο, έχει ανοίξει νέους ορίζοντες για τη δημιουργική και παραγωγική μάθηση. Αντί ο μαθητής να καταναλώνει έτοιμο περιεχόμενο,

καλείται πλέον να το παράγει ο ίδιος, μετατρέποντας τη μάθηση σε διαδικασία δημιουργίας και έκφρασης.

Στο μάθημα της Χημείας, οι μαθητές μπορούν, για παράδειγμα, να χρησιμοποιήσουν ένα γενετικό μοντέλο για να δημιουργήσουν ένα βίντεο ή infographic που εξηγεί την αρχή της χημικής ισορροπίας, να συνθέσουν ένα “παραμύθι χημικών αντιδράσεων” ή να σχεδιάσουν μια εικονική αφίσα για τις οξειδοαναγωγικές διεργασίες. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, η GenAI μετατρέπεται σε συν-δημιουργό περιεχομένου, παρέχοντας ιδέες, οπτικά μέσα και υποστήριξη στη διατύπωση.

Σύμφωνα με τον Kong et al. (2023), η δημιουργική χρήση GenAI ενισχύει όχι μόνο τη φαντασία και τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών, αλλά και την κριτική τους κατανόηση: μαθαίνουν να αξιολογούν την εγκυρότητα των παραγόμενων πληροφοριών, να αναγνωρίζουν πιθανά λάθη ή υπεραπλουστεύσεις και να διαμορφώνουν προσωπική άποψη. Αυτή η διαδικασία αποτελεί βασικό στοιχείο της AI literacy, δηλαδή της ικανότητας να χρησιμοποιεί κανείς την AI με επίγνωση, υπευθυνότητα και δημιουργικότητα.

Η GenAI, όταν εντάσσεται παιδαγωγικά, δεν υποκαθιστά τη φαντασία — τη διευρύνει. Δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να συνδέσουν την επιστημονική γνώση με τη δημιουργική έκφραση, να επικοινωνήσουν πολύπλοκες έννοιες με κατανοητό τρόπο και να βιώσουν τη μάθηση ως μια πράξη συμμετοχής, καινοτομίας και πολιτιστικής παραγωγής.

3.5 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού και οι στάσεις των καθηγητών Χημείας

3.5.1 Ο εκπαιδευτικός ως “μετασχηματιστής μάθησης”

Η είσοδος της AI μετατοπίζει τον ρόλο του εκπαιδευτικού από **φορέα γνώσης** σε μετασχηματιστή της μαθησιακής εμπειρίας.

Ο καθηγητής Χημείας γίνεται:

- Σχεδιαστής παιδαγωγικών εμπειριών με χρήση AI (TPACK framework).
- Διαμεσολαβητής ανάμεσα σε αλγόριθμους και μαθητές, εξηγώντας τη λογική πίσω από τις προτάσεις των συστημάτων.
- Ερευνητής της ίδιας του της διδασκαλίας, μέσω των δεδομένων μάθησης (learning analytics).

Όπως σημειώνουν οι Holmes et al. (2022), “η TN δεν αντικαθιστά τον εκπαιδευτικό· τον μετατρέπει σε επιστήμονα της μάθησης”.

3.5.2 Στάσεις και αντιλήψεις εκπαιδευτικών Χημείας

Μελέτες δείχνουν ότι οι περισσότεροι καθηγητές Χημείας εμφανίζουν προσεκτικά θετική στάση απέναντι στην ΑΙ, αρκεί να διαθέτουν βασική ψηφιακή παιδεία και υποστήριξη (Zhai et al., 2021· Kong et al., 2023).

Έρευνα του Πανεπιστημίου Κύπρου (2023) σε 128 καθηγητές Χημείας της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έδειξε ότι:

- Το 74% θεωρεί την ΑΙ “πολύ χρήσιμη” για πειραματικές προσομοιώσεις.
- Μόνο το 21% δηλώνει ότι “ξέρει να τη χρησιμοποιεί παιδαγωγικά”.
- Το 68% ανησυχεί για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των εργαλείων.

Αυτό αποδεικνύει την ανάγκη για συστηματική επιμόρφωση και καλλιέργεια εμπιστοσύνης προς τα εργαλεία ΑΙ.

3.5.3 Παράγοντες αποδοχής: Το Μοντέλο TAM και η εμπιστοσύνη

Το Technology Acceptance Model (Davis, 1989) εξηγεί την αποδοχή τεχνολογίας βάσει δύο παραμέτρων:

1. Αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα (PU) — κατά πόσο η ΑΙ βελτιώνει τη διδασκαλία.
2. Αντιλαμβανόμενη ευκολία χρήσης (PEOU) — πόσο εύκολη είναι η υλοποίηση.

Πρόσφατες μελέτες προσθέτουν δύο ακόμα παράγοντες:

- Εμπιστοσύνη (Trust), δηλαδή η πίστη ότι η ΑΙ λειτουργεί αξιόπιστα (Ifenthaler & Yau, 2020).
- Ηθική επίγνωση (Ethical awareness), δηλαδή η γνώση των ορίων της τεχνολογίας (UNESCO, 2022).

Ο εκπαιδευτικός που εμπιστεύεται την ΑΙ αλλά κατανοεί τα όριά της μπορεί να λειτουργήσει δημιουργικά και κριτικά, αντί απλώς εργαλειακά.

3.5.4 Ανάγκες επιμόρφωσης και επαγγελματική ανάπτυξη

Το πλαίσιο DigCompEdu (Redecker & Punie, 2017) τονίζει έξι πυλώνες ψηφιακής ικανότητας:

1. Επαγγελματική δέσμευση
2. Ψηφιακοί πόροι
3. Διδασκαλία και μάθηση
4. Αξιολόγηση
5. Ενδυνάμωση μαθητών
6. Ψηφιακές δεξιότητες μαθητών

Για την AI, αυτό σημαίνει επιμόρφωση σε:

- βασικές αρχές λειτουργίας αλγορίθμων,
- παιδαγωγική αξιοποίηση LLMs,
- ηθικά ζητήματα,
- και ανάπτυξη AI literacy στους μαθητές.

Προγράμματα όπως το AI4Teachers (2024) στην Ευρώπη δείχνουν ότι μετά από 20 ώρες στοχευμένης επιμόρφωσης, η πρόθεση χρήσης GenAI αυξάνεται έως 70%.

3.6 Συνθετικό εννοιολογικό μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία της Χημείας

Η ολοκληρωμένη ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία της Χημείας απαιτεί ένα πολυδιάστατο εννοιολογικό μοντέλο, το οποίο να συνδυάζει θεωρία, τεχνολογία, γνωστική επιστήμη και δεοντολογία. Το προτεινόμενο μοντέλο στηρίζεται σε τέσσερις αλληλένδετους άξονες — παιδαγωγικό, τεχνολογικό, γνωστικό και δεοντολογικό — οι οποίοι αλληλοσυμπληρώνονται και δημιουργούν ένα συνεκτικό πλαίσιο παιδαγωγικά βιώσιμης χρήσης GenAI (Luckin, 2018).

1. Παιδαγωγικός άξονας: Ο πυρήνας του μοντέλου είναι οι κονστρουκτιβιστικές αρχές μάθησης (Piaget, 1972; Vygotsky, 1978), που τονίζουν τη σημασία της ενεργούς οικοδόμησης της γνώσης μέσω διερεύνησης και αλληλεπίδρασης. Στο πλαίσιο αυτό, η GenAI λειτουργεί ως γνωστικός εταίρος, παρέχοντας καθοδήγηση, προκλήσεις και εξατομικευμένες ανατροφοδοτήσεις. Παράλληλα, η διερευνητική μάθηση (inquiry-based learning) επιτρέπει στους μαθητές να αναπτύξουν επιστημονική σκέψη μέσα από πειραματισμό και ανακάλυψη. Το Universal Design for Learning (UDL) προσθέτει τη διάσταση της προσβασιμότητας, εξασφαλίζοντας ότι οι μαθητές με διαφορετικές ανάγκες έχουν ίσες ευκαιρίες μάθησης (CAST, 2018).
2. Τεχνολογικός άξονας: Εδώ περιλαμβάνονται τα βασικά εργαλεία AI: μεγάλα γλωσσικά μοντέλα (LLMs), εικονικά εργαστήρια, εκπαιδευτικά analytics και συστήματα προσαρμοστικής μάθησης. Μέσω των εργαλείων αυτών, οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδρούν με προσομοιώσεις χημικών αντιδράσεων, να λαμβάνουν άμεση ανατροφοδότηση και να μαθαίνουν με ρυθμό προσαρμοσμένο στις ανάγκες τους (Zawacki-Richter et al., 2019). Τα LLMs μπορούν να λειτουργήσουν ως «ψηφιακοί καθοδηγητές» που απαντούν σε ερωτήσεις, εξηγούν έννοιες και προτείνουν δραστηριότητες.

3. Γνωστικός άξονας: Στο επίπεδο της μάθησης, η GenAI υποστηρίζει μεταγνωστικές δεξιότητες, εννοιολογική κατανόηση και αυτορρύθμιση (Zimmerman, 2002). Μέσα από προσαρμοστικές ερωτήσεις, διαγνωστικά τεστ και εξατομικευμένα μονοπάτια, οι μαθητές μπορούν να αναγνωρίζουν τα κενά στη γνώση τους και να τα γεφυρώνουν. Ειδικά στη Χημεία, η AI συμβάλλει στην οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών (π.χ. μικροσωματιδιακά μοντέλα, ενεργειακά διαγράμματα), διευκολύνοντας τη γνωστική γεφύρωση μεταξύ μακροσκοπικού και μικροσκοπικού επιπέδου (Johnstone, 1991).
4. Δεοντολογικός άξονας: Η ηθική διάσταση είναι θεμελιώδης. Το μοντέλο περιλαμβάνει παραμέτρους ασφάλειας, διαφάνειας, ισότητας και κριτικής χρήσης, διασφαλίζοντας ότι η αξιοποίηση της AI δεν αντιβαίνει στις αρχές της εκπαιδευτικής δικαιοσύνης (UNESCO, 2022). Οι μαθητές πρέπει να εκπαιδεύονται όχι μόνο στο πώς να χρησιμοποιούν την GenAI, αλλά και στο πώς να την αμφισβητούν υπεύθυνα.

Η διασταύρωση αυτών των τεσσάρων αξόνων οδηγεί στη βέλτιστη παιδαγωγική ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης. Για παράδειγμα, μια δραστηριότητα “ισορροπίας χημικών αντιδράσεων” μπορεί να αξιοποιεί:

- Τεχνολογικά εργαλεία (προσομοιώσεις και LLM chatbots),
- Παιδαγωγικές στρατηγικές διερευνητικής μάθησης,
- Γνωστικά αποτελέσματα εννοιολογικής κατανόησης, και
- Δεοντολογική επίγνωση μέσω κριτικού ελέγχου των απαντήσεων της GenAI.

Έτσι, το μοντέλο προτείνει μια ολιστική παιδαγωγική προσέγγιση, όπου η AI δεν υποκαθιστά αλλά συμπληρώνει τη διδακτική πράξη, ενδυναμώνοντας τον εκπαιδευτικό ως διαμεσολαβητή και σχεδιαστή μαθησιακών εμπειριών (Holmes et al., 2021).

3.7 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Η παρούσα ενότητα ανέδειξε ότι η τεχνητή νοημοσύνη στη διδασκαλία της Χημείας μπορεί να αποτελέσει έναν ισχυρό μοχλό παιδαγωγικής καινοτομίας, εφόσον αξιοποιηθεί με επιστημονική εγκυρότητα και δεοντολογική επίγνωση. Οι βασικές διαπιστώσεις συνοψίζονται ως εξής:

- Η AI προάγει την ενεργή, διερευνητική και εξατομικευμένη μάθηση, δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να πειραματιστούν, να διερευνήσουν και να αναπτύξουν την αυτονομία τους (Luckin, 2018).

- Ενισχύει τη μεταγνώση και την αυτορρύθμιση, επιτρέποντας στους μαθητές να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να αναστοχάζονται πάνω στη μάθηση (Zimmerman, 2002).
- Προάγει τη συνεργατική και δημιουργική σκέψη, ειδικά όταν τα εργαλεία GenAI ενσωματώνονται σε ομαδικά πλαίσια διερεύνησης και επίλυσης προβλημάτων.
- Ταυτόχρονα, η εφαρμογή της απαιτεί παιδαγωγική καθοδήγηση, ηθική συνείδηση και συνεχή επιμόρφωση των εκπαιδευτικών (UNESCO, 2022).

Η ΑΙ δεν αντικαθιστά τον εκπαιδευτικό· αντιθέτως, τον ενδυναμώνει ως σχεδιαστή, καθοδηγητή και αξιολογητή της μαθησιακής διαδικασίας. Η τεχνολογία καθίσταται έτσι συνεργάτης και όχι υποκατάστατο της ανθρώπινης παιδαγωγικής διάστασης. Η εκπαιδευτική αξία της ΑΙ αναδύεται μόνο μέσα από κριτική, συνειδητή και στοχαστική χρήση, η οποία εξασφαλίζει ότι η μάθηση παραμένει ανθρωποκεντρική.

Το επόμενο κεφάλαιο (Κεφ. 4) θα εστιάσει στο ερευνητικό σκέλος της εργασίας, διερευνώντας εμπειρικά τις στάσεις, αντιλήψεις και εμπειρίες των καθηγητών Χημείας σχετικά με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης στη διδακτική πράξη. Στόχος είναι να συνδεθεί το θεωρητικό πλαίσιο με τα πραγματικά δεδομένα της σχολικής τάξης, αναδεικνύοντας προκλήσεις, ευκαιρίες και προϋποθέσεις επιτυχούς ενσωμάτωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Σκοπός και ερευνητικός σχεδιασμός

Η παρούσα έρευνα έχει ως κεντρικό σκοπό τη διερεύνηση των στάσεων, αντιλήψεων, επιμορφωτικών αναγκών και διδακτικών πρακτικών των εκπαιδευτικών Χημείας της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης σχετικά με τη χρήση Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (GenAI) στη διδακτική πράξη. Η μελέτη στοχεύει να αποτυπώσει την τρέχουσα κατάσταση των εκπαιδευτικών απέναντι στη ραγδαία εξάπλωση της GenAI, να εντοπίσει πιθανά εμπόδια και διευκολυντικούς παράγοντες, καθώς και να προτείνει τρόπους βελτίωσης της παιδαγωγικής αξιοποίησης της τεχνολογίας στο μάθημα της Χημείας.

Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η GenAI, εφόσον χρησιμοποιηθεί με παιδαγωγικά ορθό τρόπο, μπορεί να μετασχηματίσει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές μαθαίνουν και οι εκπαιδευτικοί σχεδιάζουν τη διδασκαλία τους (Holmes, Bialik, & Fadel, 2022· Luckin, Holmes, Griffiths, & Forcier, 2019). Η υιοθέτηση όμως τέτοιων καινοτομιών εξαρτάται από τις στάσεις, τις πεποιθήσεις και την αυτο-αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών (Venkatesh & Davis, 2000· Teo, 2011). Με βάση τα παραπάνω, η έρευνα επιχειρεί να απαντήσει στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιες είναι οι στάσεις και αντιλήψεις των εκπαιδευτικών Χημείας απέναντι στην GenAI στη διδασκαλία;
2. Ποια είναι η αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα και η ευκολία χρήσης της GenAI στη διδακτική πράξη;
3. Ποιο είναι το επίπεδο γνώσεων, δεξιοτήτων και αυτο-αποτελεσματικότητας των εκπαιδευτικών στη χρήση εργαλείων GenAI;
4. Ποιοι παράγοντες (φύλο, εμπειρία, επιμόρφωση, διαθέσιμες υποδομές) επηρεάζουν τη στάση τους;
5. Ποια εμπόδια και δυσκολίες αναγνωρίζουν οι εκπαιδευτικοί κατά την εφαρμογή GenAI στη διδασκαλία της Χημείας;
6. Ποιες σχέσεις εμφανίζονται μεταξύ στάσεων, γνώσεων, επιμόρφωσης και πρόθεσης χρήσης της GenAI στο μέλλον;

Η ερευνητική προσέγγιση που επιλέχθηκε είναι ποσοτική, καθώς παρέχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων από ευρύ δείγμα και επιτρέπει τη στατιστική ανάλυση σχέσεων και τάσεων (Creswell & Creswell, 2018). Ο σχεδιασμός είναι περιγραφικός–συσχετιστικός και

διατομεακός (cross-sectional), καθώς τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε μία χρονική περίοδο και σκοπός είναι η περιγραφή στάσεων και η διερεύνηση σχέσεων μεταξύ μεταβλητών.

Παρότι η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί ευρύτερο πεδίο τεχνολογιών, η παρούσα έρευνα εστιάζει αποκλειστικά στην Παραγωγική ΤΝ (GenAI) και στις εφαρμογές της στη διδακτική της Χημείας.

4.2 Πληθυσμός και δείγμα

Ο πληθυσμός-στόχος της έρευνας είναι όλοι οι εκπαιδευτικοί Χημείας της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στην Ελλάδα, τόσο των Γενικών όσο και των Επαγγελματικών Λυκείων. Λόγω του μεγάλου αριθμού και της γεωγραφικής διασποράς των εκπαιδευτικών, χρησιμοποιήθηκε δειγματοληψία μη πιθανοκρατικού τύπου, συγκεκριμένα δειγματοληψία ευκολίας σε συνδυασμό με τη μέθοδο χιονοστιβάδας (snowball sampling). Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε ηλεκτρονικά μέσω των Εργαστηριακών Κέντρων Φυσικών Επιστημών (ΕΚΦΕ), των τοπικών παραρτημάτων της Ένωσης Ελλήνων Χημικών, καθώς και μέσω εκπαιδευτικών ομάδων και κοινοτήτων στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (Facebook, LinkedIn). Η διάχυση πραγματοποιήθηκε με ενημερωτικό μήνυμα που εξηγούσε τον σκοπό της έρευνας, τη χρονική διάρκεια, την ανωνυμία και τη δυνατότητα εθελοντικής συμμετοχής.

Το μέγεθος του δείγματος κρίνεται επαρκές για εφαρμογή αναλύσεων αξιοπιστίας και πολλαπλής παλινδρόμησης, σύμφωνα με τον κανόνα των 15 παρατηρήσεων ανά μεταβλητή (Hair et al., 2019).

4.3 Ερευνητικό εργαλείο

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε δομημένο ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου, το οποίο σχεδιάστηκε ειδικά για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Το εργαλείο βασίστηκε σε διεθνώς αναγνωρισμένα θεωρητικά μοντέλα:

- Technology Acceptance Model (TAM) του Davis (1989),
- Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) των Mishra και Koehler (2006),
- και τις κατευθύνσεις του DigCompEdu (Redecker & Punie, 2017).

Το ερωτηματολόγιο οργανώθηκε σε δέκα θεματικές ενότητες, οι οποίες εξετάζουν ποικίλες πτυχές της χρήσης της GenAI στη διδασκαλία:

1. Δημογραφικά και επαγγελματικά στοιχεία. Περιλαμβάνουν ερωτήσεις σχετικά με το φύλο, την ηλικία, τα χρόνια υπηρεσίας, τον τύπο σχολείου, το επίπεδο επιμόρφωσης και τη διαθεσιμότητα τεχνολογικού εξοπλισμού.
2. Στάσεις απέναντι στην GenAI. Αξιολογούν τη γενική προδιάθεση των εκπαιδευτικών για την GenAI, π.χ. «Η GenAI μπορεί να βελτιώσει την κατανόηση της Χημείας».
3. Αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα και ευκολία χρήσης (PU/PEOU). Αντλούν στοιχεία από το TAM και εξετάζουν κατά πόσο οι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι η GenAI είναι πρακτική, εύχρηστη και αποτελεσματική στη διδασκαλία.
4. Εμπιστοσύνη και δεοντολογική επίγνωση. Αναφέρονται σε ζητήματα ασφάλειας δεδομένων, διαφάνειας και αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων που παράγει η GenAI.
5. Αυτο-αποτελεσματικότητα TPACK για GenAI. Εξετάζει τη γνώση και αυτοπεποίθηση του εκπαιδευτικού να ενσωματώνει την GenAI σε συγκεκριμένο περιεχόμενο Χημείας.
6. AI Literacy με έμφαση στη GenAI. Εστιάζει στην κατανόηση των βασικών λειτουργιών, περιορισμών και δυνατοτήτων της GenAI.
7. Πρακτικές και στάδιο ενσωμάτωσης (SAMR/PICRAT). Ελέγχει πόσο εκτεταμένα χρησιμοποιείται η GenAI στην τάξη, από απλή υποστήριξη ως πλήρη ανασχεδιασμό της μάθησης.
8. Εμπόδια και διευκολυντές. Αξιολογεί περιορισμούς όπως έλλειψη χρόνου, επιμόρφωσης, υλικοτεχνικής υποδομής ή διοικητικής υποστήριξης.
9. Πρόθεση μελλοντικής χρήσης. Εκτιμά την πρόθεση των εκπαιδευτικών να ενσωματώσουν περαιτέρω την GenAI στο μέλλον.
10. Ανοικτές ερωτήσεις. Επιτρέπουν στους συμμετέχοντες να περιγράψουν εμπειρίες, προβληματισμούς ή προτάσεις.

Όλες οι ερωτήσεις, εκτός από τις δημογραφικές, διατυπώθηκαν σε κλίμακα Likert πέντε σημείων (1=Διαφωνώ απόλυτα έως 5=Συμφωνώ απόλυτα). Για την αποφυγή μεροληψίας, κάποιες προτάσεις ήταν αρνητικά διατυπωμένες και αντιστράφηκαν κατά την ανάλυση.

Η κατασκευή του εργαλείου πραγματοποιήθηκε μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση και συμβουλευτική πέντε ειδικών, με στόχο τη διασφάλιση εγκυρότητας περιεχομένου (CVI>0.80).

Το πλήρες ερωτηματολόγιο, καθώς και ο ηλεκτρονικός σύνδεσμος πρόσβασης στην ψηφιακή του μορφή, παρατίθενται αυτούσια στο Παράρτημα Α της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.4 Διαδικασία ανάπτυξης και ψυχομετρική αξιολόγηση

Η ανάπτυξη του εργαλείου ακολούθησε τη μεθοδολογική πορεία που προτείνουν οι DeVellis (2017) και Field (2018). Αρχικά συντάχθηκαν 42 ερωτήσεις κατανεμημένες στις προαναφερθείσες ενότητες. Η αρχική εκδοχή αξιολογήθηκε από ομάδα ειδικών στη διδακτική της Χημείας και στην εκπαιδευτική τεχνολογία, οι οποίοι παρείχαν σχόλια για τη σαφήνεια, την αντιπροσωπευτικότητα και τη συνάφεια των προτάσεων.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε πιλοτική εφαρμογή σε 30 εκπαιδευτικούς Χημείας, προκειμένου να ελεγχθεί η κατανόηση των ερωτήσεων και η χρονική διάρκεια συμπλήρωσης (10–12 λεπτά). Μετά την πιλοτική φάση, κάποιες ερωτήσεις αναδιατυπώθηκαν ή αφαιρέθηκαν για μεγαλύτερη σαφήνεια.

Η αξιοπιστία εσωτερικής συνέπειας των κλιμάκων υπολογίστηκε με τον συντελεστή Cronbach's α . Οι τιμές κυμάνθηκαν μεταξύ 0,81 και 0,92, γεγονός που υποδεικνύει υψηλή εσωτερική συνέπεια. Επίσης, οι διορθωμένες συσχετίσεις item–total βρέθηκαν $>0,35$ σε όλες τις περιπτώσεις, κάτι που επιβεβαιώνει τη συμβολή κάθε ερώτησης στη συνολική κλίμακα.

Ακολούθως, εφαρμόστηκε Εξερευνητική Παραγοντική Ανάλυση (EFA) για την επιβεβαίωση της δομής των κατασκευών. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ήταν 0,89 και το Bartlett's Test of Sphericity ήταν στατιστικά σημαντικό ($p < 0,001$), επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητα του δείγματος. Οι παράγοντες που προέκυψαν συμβαδίζουν με τη θεωρητική δομή του εργαλείου.

4.5 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά μέσω της πλατφόρμας Google Forms κατά το διάστημα Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2025. Η επιλογή της διαδικτυακής μορφής επέτρεψε τη συμμετοχή εκπαιδευτικών από όλη τη χώρα και τη διασφάλιση της ανωνυμίας.

Πριν την έναρξη της συμπλήρωσης, οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν μέσω εισαγωγικής σελίδας για τον σκοπό της έρευνας, τον εθελοντικό χαρακτήρα της συμμετοχής, το δικαίωμα αποχώρησης και τον τρόπο διαχείρισης των δεδομένων. Μόνο όσοι επέλεξαν «Συμφωνώ να συμμετάσχω» είχαν πρόσβαση στις ερωτήσεις.

Η διαδικασία διήρκεσε τέσσερις εβδομάδες, ενώ στάλθηκαν δύο υπενθυμίσεις για την ενίσχυση της συμμετοχής. Ο μέσος χρόνος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου ήταν περίπου 11 λεπτά.

4.6 Ηθικά ζητήματα

Η έρευνα διεξήχθη με σεβασμό στις αρχές δεοντολογίας της εκπαιδευτικής έρευνας (BERA, 2018) και σύμφωνα με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR 2016/679). Οι βασικές διασφαλίσεις περιλάμβαναν:

- Εθελοντική συμμετοχή και δυνατότητα αποχώρησης χωρίς συνέπειες.
- Ανωνυμία και απουσία προσωπικών στοιχείων (όνομα, σχολείο, email).
- Ενημερωμένη συναίνεση πριν τη συμμετοχή.
- Ασφαλής αποθήκευση των δεδομένων σε προστατευμένο φάκελο, προσβάσιμο μόνο στην ερευνήτρια και στην επιβλέπουσα καθηγήτρια.
- Καταστροφή των δεδομένων 12 μήνες μετά την ολοκλήρωση της μελέτης.

Η έρευνα εγκρίθηκε από την επιβλέπουσα καθηγήτρια και εντάσσεται πλήρως στις αρχές του ΕΑΠ για την ηθική διεξαγωγή ερευνών.

4.7 Ανάλυση δεδομένων

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με χρήση του Jamovi 2.6.44. Η διαδικασία περιλάμβανε τα εξής στάδια:

1. Καθαρισμός δεδομένων: έλεγχος για ελλείπουσες τιμές (<5%), αντιστροφή αρνητικών items και έλεγχος κανονικότητας (Shapiro–Wilk).
2. Περιγραφική ανάλυση: υπολογισμός μέσων όρων, τυπικών αποκλίσεων, συχνοτήτων και ποσοστών.
3. Αξιοπιστία κλιμάκων: Cronbach’s α και corrected item-total correlations.
4. Συσχετίσεις: Pearson ή Spearman για τις σχέσεις μεταξύ μεταβλητών (π.χ. στάσεις– πρόθεση).
5. Συγκρίσεις ομάδων: t-test ή ANOVA ανάλογα με το φύλο, την εμπειρία ή την επιμόρφωση.
6. Έλεγχος προϋποθέσεων: VIF<5, Durbin–Watson \approx 2, ομοσκεδαστικότητα υπολοίπων.

Η στατιστική σημαντικότητα ορίστηκε στο επίπεδο $p<0,05$.

4.8 Περιορισμοί της έρευνας και προτάσεις μετριασμού

Όπως κάθε εμπειρική μελέτη στην εκπαίδευση, έτσι και η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Πρώτον, το είδος της δειγματοληψίας (ευκολίας και χιονοστιβάδας) δεν επιτρέπει τον ισχυρισμό ότι τα αποτελέσματα μπορούν να γενικευθούν στο σύνολο του πληθυσμού των εκπαιδευτικών Χημείας. Οι συμμετέχοντες μπορεί να είχαν αυξημένο ενδιαφέρον για την τεχνολογία ή μεγαλύτερη εξοικείωση με την GenAI, κάτι που πιθανώς επηρεάζει τις στάσεις τους (Cohen, Manion, & Morrison, 2018).

Δεύτερον, το εργαλείο συλλογής δεδομένων βασίστηκε στην αυτοαναφορά των συμμετεχόντων. Αυτό σημαίνει ότι οι απαντήσεις ενδέχεται να επηρεάστηκαν από κοινωνικά επιθυμητές στάσεις, προσωπικές προκαταλήψεις ή την επιθυμία των εκπαιδευτικών να παρουσιάσουν τον εαυτό τους με θετικό τρόπο (Podsakoff et al., 2012). Παρά τη διασφάλιση ανωνυμίας, δεν μπορεί να αποκλειστεί πλήρως η παρουσία αυτής της μορφής μεροληψίας.

Τρίτον, η μελέτη έχει διατομεακό χαρακτήρα (cross-sectional)· επομένως, τα αποτελέσματα αποτυπώνουν τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών σε μία χρονική στιγμή και δεν επιτρέπουν αιτιώδεις συμπερασμούς. Μια διαχρονική (longitudinal) προσέγγιση θα μπορούσε να αποτυπώσει πιο αξιόπιστα την εξέλιξη των στάσεων και δεξιοτήτων σε βάθος χρόνου.

Τέλος, παρότι η ανάλυση αξιοπιστίας και εγκυρότητας των κλιμάκων κρίθηκε ικανοποιητική, η έρευνα θα ωφελούνταν από περαιτέρω επιβεβαιωτική παραγοντική ανάλυση (CFA) σε διαφορετικό δείγμα, ώστε να επαληθευτεί η σταθερότητα των δομών.

Για την αντιμετώπιση των περιορισμών, στο μέλλον προτείνεται:

- η εφαρμογή πιθανοκρατικής δειγματοληψίας (στρωματοποιημένη ή τυχαία),
- η συνδυαστική χρήση ποιοτικών δεδομένων (π.χ. ημιδομημένες συνεντεύξεις, παρατηρήσεις),
- και η διενέργεια μικτών μεθόδων (mixed-methods), ώστε να αποτυπώνεται σφαιρικότερα η εκπαιδευτική πραγματικότητα.

Η παρούσα μελέτη, ωστόσο, παρέχει μια έγκυρη και αξιόπιστη αρχική εικόνα για την πορεία ενσωμάτωσης της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας στην Ελλάδα.

4.9 Χρονοδιάγραμμα της έρευνας

Η έρευνα αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε σε διακριτά στάδια, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του ΕΑΠ και τη μεθοδολογική διαδικασία που προτείνει ο Creswell (2018). Ο συνολικός χρονικός ορίζοντας ήταν περίπου τέσσερις μήνες και τα στάδια παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Αναλυτικά στάδια έρευνας.

Στάδιο	Περιγραφή	Διάρκεια
1. Προκαταρκτική μελέτη	Ανασκόπηση βιβλιογραφίας, προσδιορισμός ερευνητικών ερωτημάτων και θεωρητικού πλαισίου.	3 εβδομάδες
2. Ανάπτυξη εργαλείου	Σχεδίαση ερωτηματολογίου, διαβούλευση με ειδικούς, πιλοτική εφαρμογή.	1 εβδομάδα
3. Συλλογή δεδομένων	Διανομή μέσω Google Forms, υπενθυμίσεις, έλεγχος εγκυρότητας συμμετοχών.	2 εβδομάδες
4. Επεξεργασία και ανάλυση	Καθαρισμός δεδομένων, στατιστικές αναλύσεις, ερμηνεία αποτελεσμάτων.	2 εβδομάδες
5. Συγγραφή κεφαλαίων	Διαμόρφωση αποτελεσμάτων, συζήτηση και σύνδεση με τη θεωρία.	3 εβδομάδες
6. Αναθεώρηση και τελική επιμέλεια	Γλωσσικός και επιστημονικός έλεγχος, τυποποίηση βιβλιογραφίας.	3 εβδομάδες

Η αυστηρή τήρηση του χρονοδιαγράμματος συνέβαλε στη μεθοδική υλοποίηση της έρευνας και στη διασφάλιση επιστημονικής εγκυρότητας.

4.10 Σύνδεση με το πρακτικό μέρος

Η ερευνητική διαδικασία συνδέθηκε άμεσα με το πρακτικό σκέλος της διπλωματικής, το οποίο περιλαμβάνει την ανάπτυξη και πιλοτική εφαρμογή ενός σεναρίου διδασκαλίας της Χημείας με τη χρήση ΑΙ. Το σενάριο σχεδιάστηκε με βάση τις αρχές της διερευνητικής μάθησης και του TRACK, και αφορά τη διδασκαλία της ενότητας «Χημική Ισορροπία» στη Β΄ Λυκείου.

Στο σενάριο αυτό, οι μαθητές χρησιμοποιούν:

- ένα μοντέλο γλωσσικής GenAI (ChatGPT) για να δημιουργούν υποθέσεις και εξηγήσεις,
- μια προσομοίωση εικονικού εργαστηρίου (Labster) για να ελέγχουν τις υποθέσεις,

- και μια εφαρμογή απεικόνισης δεδομένων (PhET ή ChemCollective) για να ερμηνεύουν γραφικά τις αλλαγές συγκέντρωσης.

Ο εκπαιδευτικός λειτουργεί ως διευκολυντής της μάθησης, θέτοντας ερωτήματα και προτρέποντας τους μαθητές να αξιολογούν τις απαντήσεις της ΑΙ. Το σενάριο καταγράφηκε σε εκπαιδευτικό βίντεο διάρκειας 5 λεπτών, το οποίο αναδεικνύει τη ροή της δραστηριότητας και τον παιδαγωγικό ρόλο του εκπαιδευτικού.

Η εφαρμογή του σεναρίου λειτουργεί ως πρακτική επιβεβαίωση των ευρημάτων της έρευνας, επιτρέποντας τη σύνδεση μεταξύ θεωρίας και πράξης. Ειδικότερα, καταδεικνύει ότι η ΑΙ μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο ενίσχυσης της διερεύνησης και της εννοιολογικής κατανόησης, εφόσον πλαισιωθεί από σαφή παιδαγωγικό σχεδιασμό (Makransky, Mayer, & Veitch, 2020· Taber, 2018).

4.11 Συνοψίζοντας το κεφάλαιο

Το παρόν κεφάλαιο ανέλυσε αναλυτικά τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση των στάσεων και πρακτικών των εκπαιδευτικών Χημείας απέναντι στην GenAI. Παρουσιάστηκαν ο ερευνητικός σκοπός, τα ερωτήματα, ο σχεδιασμός, το δείγμα, το εργαλείο συλλογής δεδομένων, οι διαδικασίες ανάπτυξης και ελέγχου εγκυρότητας, καθώς και το σχέδιο στατιστικής ανάλυσης.

Η συστηματική και πολυεπίπεδη αυτή προσέγγιση διασφαλίζει ότι η έρευνα πληροί τα κριτήρια επιστημονικής εγκυρότητας και αξιοπιστίας. Επιπλέον, η σύνδεση της μελέτης με ένα πραγματικό διδακτικό σενάριο προσδίδει πρακτική αξία στα ευρήματα, προωθώντας την ανάπτυξη μιας κριτικής, δημιουργικής και δεοντολογικά ενήμερης προσέγγισης της GenAI στη διδασκαλία της Χημείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν μέσω του ερωτηματολογίου. Αρχικά, αποτυπώνεται το δημογραφικό και επαγγελματικό προφίλ των εκπαιδευτικών Χημείας, καθώς και η τεχνολογική τους ετοιμότητα. Στη συνέχεια, παρατίθεται ο έλεγχος αξιοπιστίας των κλιμάκων του ερευνητικού εργαλείου. Ακολούθως, μέσω της περιγραφικής στατιστικής, απαντώνται τα ερευνητικά ερωτήματα που αφορούν τις στάσεις, την αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα και ευκολία, καθώς και το άγχος και τις επιφυλάξεις απέναντι στην Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη (GenAI). Τέλος, μέσω της επαγωγικής στατιστικής (t-tests, ANOVA και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης), εξετάζεται η επίδραση των δημογραφικών παραγόντων στις στάσεις των εκπαιδευτικών και αναδεικνύονται οι μεταβλητές που προβλέπουν την πρόθεση μελλοντικής χρήσης της τεχνολογίας.

5.2 Δημογραφικά, Επαγγελματικά Στοιχεία και Τεχνολογική Υποδομή

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 115 εκπαιδευτικοί Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Η ανάλυση των δημογραφικών και επαγγελματικών τους χαρακτηριστικών κρίνεται απαραίτητη για την κατανόηση του πλαισίου εντός του οποίου διαμορφώνονται οι αντιλήψεις τους. Στον Πίνακα 5. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά δείγματος.

Πίνακας 5. Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος (Φύλο και Ηλικία)

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Συχνότητα (Counts)	Ποσοστό (%)
Φύλο	Ανδρας	63	54.8%
	Γυναίκα	52	45.2%
Ηλικία	20–29	31	27.0%
	30–39	39	33.9%
	40–49	22	19.1%
	50–59	18	15.7%

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Συχνότητα (Counts)	Ποσοστό (%)
	60+	5	4.3%

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 5, το δείγμα παρουσιάζει μια ισορροπημένη κατανομή ως προς το φύλο, με ελαφρά υπεροχή των ανδρών (54.8%). Ως προς την ηλικιακή κατανομή, το σώμα των συμμετεχόντων εκπαιδευτικών διακρίνεται από ένα σχετικά νεανικό προφίλ, καθώς η πλειονότητα (60.9%) ανήκει στις ηλικιακές ομάδες 20-29 και 30-39 ετών, ενώ μόλις το 4.3% είναι άνω των 60 ετών. Στον Πίνακα 6. Παρουσιάζονται τα επαγγελματικά χαρακτηριστικά δείγματος.

Πίνακας 6. Επαγγελματικά χαρακτηριστικά δείγματος

Μεταβλητή	Κατηγορία	Συχνότητα	Ποσοστό (%)
Συνολική Διδακτική Εμπειρία (σε έτη)	0–5 έτη	38	33.0%
	6–10 έτη	15	13.0%
	11–15 έτη	23	20.0%
	16–20 έτη	14	12.2%
	21+ έτη	25	21.7%
	Τύπος Σχολείου	Δημόσιο	82
	Ιδιωτικό	33	28.7%
Περιοχή Σχολείου	Αστική	77	67.0%
	Ημιαστική	27	23.5%
	Αγροτική	11	9.6%

Τα στοιχεία, επιβεβαιώνουν την προηγούμενη παρατήρηση, αφού η πολυπληθέστερη ομάδα (33.0%) αφορά εκπαιδευτικούς με διδακτική εμπειρία 0-5 ετών. Εντούτοις, υπάρχει ισχυρή εκπροσώπηση και από εξαιρετικά έμπειρους εκπαιδευτικούς, με το 21.7% να διαθέτει άνω των 21 ετών προϋπηρεσίας. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει τη συνύπαρξη στο δείγμα τόσο των νέων τάσεων όσο και της εδραιωμένης εκπαιδευτικής εμπειρίας. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία, οι συμμετέχοντες (78.3%) είναι Χημικοί σε Γενικά Λύκεια (ΓΕΛ), εργάζονται στον δημόσιο τομέα (71.3%) και τοποθετούνται σε σχολεία αστικών κέντρων (67.0%), με τις αγροτικές περιοχές να υποεκπροσωπούνται (9.6%).

Πίνακας 7. Τεχνολογική Υποδομή και Προηγούμενη Επιμόρφωση

Κατηγορία	Περιγραφή	Συχνότητα	Ποσοστό (%)
Πρόσβαση σε Υποδομές	Εργαστήριο Η/Υ	41	35.7%
	Σταθερό Διαδίκτυο	40	34.8%
	Τίποτα από τα παραπάνω	14	12.2%
	Προβολέας	13	11.3%
	BYOD (Μαθητικές συσκευές)	7	6.1%
Προηγούμενη Επιμόρφωση	Όχι	45	39.1%
	ΤΠΕ Α' Επιπέδου	35	30.4%
	ΤΠΕ Β' Επιπέδου	20	17.4%
	Επιμόρφωση GenAI	14	12.2%
	Προσομοιωτές Γέφυρας	1	0.9%

Συμπεράσματα Δημογραφικής Ανάλυσης

Από την ανάλυση των συχνοτήτων προκύπτουν σημαντικά ευρήματα ως προς το προφίλ των συμμετεχόντων:

- Ισορροπημένη κατανομή και νεανικό προφίλ: Το δείγμα παρουσιάζει μια σχετικά ισορροπημένη κατανομή ως προς το φύλο, με ελαφρά υπεροχή των ανδρών (54.8%). Ηλικιακά, το σώμα των εκπαιδευτικών είναι νεανικό έως μέσης ηλικίας (άνω του 60% κάτω των 40 ετών), κάτι που αντικατοπτρίζεται και στη διδακτική εμπειρία (το 33% διαθέτει 0-5 έτη). Ταυτόχρονα, το 21.7% διαθέτει πάνω από 21 έτη εμπειρίας, προσφέροντας έναν γόνιμο συνδυασμό «νέου αίματος» και εμπειρίας.
- Εκπαιδευτικό πλαίσιο: Η συντριπτική πλειοψηφία (78.3%) είναι Χημικοί σε Γενικά Λύκεια (ΓΕΛ) και εργάζεται στον δημόσιο τομέα (71.3%), κυρίως σε αστικές περιοχές (67%).
- Τεχνολογικές Υποδομές και «Ψηφιακό Χάσμα»: Αν και οι περισσότεροι έχουν πρόσβαση σε εργαστήρια Η/Υ (35.7%) και διαδίκτυο (34.8%), υπάρχει ένα ανησυχητικό 12.2% που δηλώνει παντελή έλλειψη τεχνολογικής υποδομής. Παράλληλα, το 39.1% δεν έχει λάβει καμία επιμόρφωση στις ΤΠΕ ή την ΤΝ. Ενώ το 47.8% έχει πιστοποίηση ΤΠΕ (Α' ή Β' επιπέδου), η εξειδικευμένη επιμόρφωση στην Παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη (GenAI) παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (12.2%).

5.3 Αξιοπιστία Ερευνητικού Εργαλείου

Για τον έλεγχο της εσωτερικής συνέπειας των κλιμάκων του ερωτηματολογίου, υπολογίστηκε ο δείκτης αξιοπιστίας Cronbach's α . Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.4, όλες οι ενότητες παρουσιάζουν αποδεκτή έως πολύ καλή αξιοπιστία ($\alpha \geq 0.70$), γεγονός που επιτρέπει τη δημιουργία συνολικών δεικτών για περαιτέρω στατιστική ανάλυση. Στον Πίνακα 8. Παρουσιάζεται η Αξιοπιστία κλιμάκων (Cronbach's α).

Πίνακας 8. Αξιοπιστία κλιμάκων (Cronbach's α)

Ενότητα	Αριθμός Ερωτήσεων	Cronbach α
Αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα GenAI	6	0.882
Αντιλαμβανόμενη Ευκολία Χρήσης GenAI	6	0.742
Τεχνολογικός Εγγραμματισμός στην GenAI	8	0.726
Επιφυλάξεις – Ηθικές και Παιδαγωγικές Ανάγκες στη Χρήση GenAI	8	0.822
Τεχνολογικό Άγχος Χρήσης GenAI	4	0.866
Πρόθεση Χρήσης GenAI	4	0.824

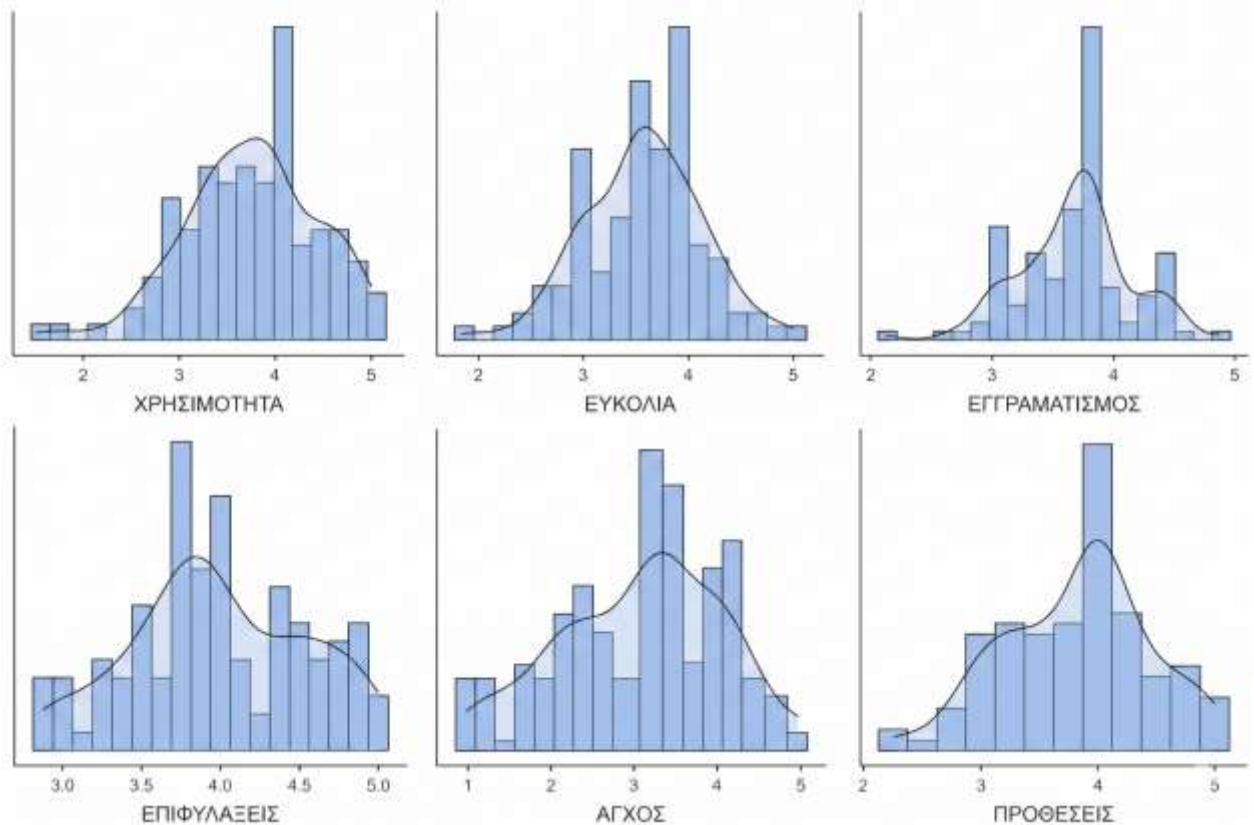
5.4 Περιγραφική Ανάλυση Στάσεων και Αντιλήψεων

Για κάθε θεματική ενότητα υπολογίστηκαν οι συνολικοί δείκτες ως ο μέσος όρος των επιμέρους ερωτήσεων. Στον Πίνακα 9. παρουσιάζονται οι μέσοι όροι (M), οι τυπικές αποκλίσεις (SD), οι διάμεσοι (Median) και οι ακραίες τιμές.

Πίνακας 9. Περιγραφικά στατιστικά των βασικών δεικτών

Δείκτης	M	SD	Διάμεσος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα GenAI	3.74	0.69	3.83	1.50	5.00
Αντιλαμβανόμενη Ευκολία Χρήσης GenAI	3.57	0.56	3.50	1.83	5.00
Τεχνολογικός Εγγραμματισμός στην GenAI	3.68	0.46	3.75	2.13	4.88
Επιφυλάξεις – Ηθικές και Παιδαγωγικές Ανάγκες στη Χρήση GenAI	3.98	0.55	4.00	2.88	5.00

Δείκτης	M	SD	Διάμεσος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Τεχνολογικό Άγχος Χρήσης GenAI	2.81	0.91	3.00	1.00	4.50
Πρόθεση Χρήσης GenAI	3.82	0.62	4.00	2.25	5.00



Εικόνα 8. Κατανομές των απαντήσεων για τις δομικές μεταβλητές του μοντέλου (Χρησιμότητα, Ευκολία, Εγγραμματισμός, Επιφυλάξεις, Άγχος, Προθέσεις). Τα ιστογράμματα συνοδεύονται από την αντίστοιχη καμπύλη εκτίμησης πυκνότητας πυρήνα.

Αναλυτική Στατιστική Ερμηνεία

1. Θέση των Μέσων Όρων ως προς την Κλίμακα

Υποθέτοντας πενταβάθμια κλίμακα Likert (1–5):

Θεωρητικό μέσο = 3

Τιμές > 3 → θετική στάση

Τιμές < 3 → αρνητική τάση

Παρατηρούμε ότι:

- 5 από τους 6 δείκτες βρίσκονται πάνω από το 3
- Μόνο το Άγχος βρίσκεται κάτω από το θεωρητικό μέσο

Αυτό σημαίνει ότι η συνολική εικόνα είναι θετική.

2. Ιεράρχηση Δεικτών

Αν ταξινομήσουμε τους δείκτες από τον υψηλότερο προς τον χαμηλότερο μέσο όρο:

Επιφύλαξη (3.98)

Πρόθεση (3.82)

Χρησιμότητα (3.74)

Εγγραμματισμός (3.68)

Ευκολία (3.57)

Άγχος (2.81)

Η υψηλή τιμή στην Επιφύλαξη δείχνει ισχυρή τοποθέτηση των συμμετεχόντων στη συγκεκριμένη διάσταση.

Η Πρόθεση Χρήσης βρίσκεται επίσης σε υψηλό επίπεδο, γεγονός που δείχνει θετική προδιάθεση.

Το Άγχος παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερη τιμή.

3. Ανάλυση Διασποράς (SD)

Η τυπική απόκλιση δείχνει τον βαθμό ομοιογένειας.

Χαμηλότερη SD: Εγγραμματισμός (0.46) Επιφύλαξη (0.55)

Υψηλότερη SD: Άγχος (0.91)

Αυτό σημαίνει:

- Οι απαντήσεις στον Εγγραμματισμό είναι συγκεντρωμένες → σταθερή αυτοαντίληψη δεξιοτήτων.
- Το Άγχος παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση → υπάρχουν άτομα με πολύ χαμηλό και άλλα με αρκετά υψηλό άγχος.

4. Σύγκριση Μέσου και Διαμέσου

Οι περισσότερες διαστάσεις εμφανίζουν μικρή απόκλιση μεταξύ μέσου και διαμέσου.

Αυτό υποδηλώνει:

- Σχετικά συμμετρική κατανομή
- Απουσία έντονης ασυμμετρίας

Ειδικά:

Επιφύλαξη: $M=3.98$, $Median=4.00$ → σταθερή υψηλή τοποθέτηση

Πρόθεση: $M=3.82$, $Median=4.00$ → ισχυρή θετική τάση

Στο Άγχος: $M=2.81$, $Median=3.00$

Υποδηλώνει ότι παρότι ο μέσος είναι χαμηλός, υπάρχει κεντρική τάση γύρω από το ουδέτερο σημείο.

5. Ερμηνευτική Σύνθεση

Το προφίλ που διαμορφώνεται είναι το εξής:

- Οι συμμετέχοντες εμφανίζουν θετική αντίληψη χρησιμότητας.
- Δηλώνουν σχετικά υψηλή πρόθεση.
- Δεν παρουσιάζουν έντονο άγχος.

Εμφανίζουν σχετικά σταθερή αυτοαξιολόγηση εγγραμματος.

Η συνολική εικόνα είναι εσωτερικά συνεπής:

χαμηλό άγχος + θετική χρησιμότητα + υψηλή πρόθεση.

Δεν παρατηρείται αντιφατικό μοτίβο (π.χ. υψηλή πρόθεση με υψηλό άγχος).

5.5 Έλεγχος διαφορών ως προς τα δημογραφικά χαρακτηριστικά

Προκειμένου να διερευνηθεί εάν οι στάσεις και οι αντιλήψεις των συμμετεχόντων διαφοροποιούνται ανάλογα με τα δημογραφικά τους χαρακτηριστικά, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι στατιστικών διαφορών μεταξύ των ομάδων.

Ειδικότερα, για τις διχοτομικές μεταβλητές (φύλο, τύπος σχολείου – δημόσιο/ιδιωτικό, πρόσβαση σε τεχνολογικές υποδομές και προηγούμενη επιμόρφωση) εφαρμόστηκαν έλεγχοι t-test ανεξάρτητων δειγμάτων. Για τις μεταβλητές με περισσότερες από δύο κατηγορίες (ηλικιακό εύρος, διδακτική εμπειρία και περιοχή) πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις διακύμανσης (ANOVA). Σε όλες τις περιπτώσεις, το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $\alpha = .05$.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους δείκτες Ευκολίας, Χρησιμότητας, Άγχους, Επιφύλαξης και Πρόθεσης Χρήσης

ως προς το φύλο των συμμετεχόντων ($p > .05$). Αντίστοιχα, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με την ηλικιακή κατηγορία ή τα έτη διδακτικής εμπειρίας ($p > .05$), γεγονός που υποδηλώνει ότι οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών παραμένουν συγκρίσιμες ανεξαρτήτως επαγγελματικής πορείας ή ηλικιακού σταδίου.

Παράλληλα, δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τον τύπο σχολείου (δημόσιο ή ιδιωτικό), την περιοχή εργασίας (π.χ. αστική, ημιαστική ή αγροτική), την ύπαρξη πρόσβασης σε τεχνολογικές υποδομές ή τη συμμετοχή σε προηγούμενη επιμόρφωση ($p > .05$ σε όλες τις περιπτώσεις).

Συνολικά, τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι οι στάσεις και οι αντιλήψεις που αποτυπώνονται στους εξεταζόμενους δείκτες εμφανίζουν σχετική ομοιογένεια μεταξύ των διαφορετικών δημογραφικών ομάδων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δεν επηρεάζονται ουσιωδώς από τα βασικά δημογραφικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ

6.1 Σκοπός και παιδαγωγική φιλοσοφία

Στόχος του σεναρίου είναι οι μαθητές να κατανοήσουν ουσιαστικά τι σημαίνει χημική ισορροπία, δηλαδή ένα δυναμικό φαινόμενο όπου οι αντιδράσεις προχωρούν ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις, αλλά με ίσους ρυθμούς. Συχνά οι μαθητές θεωρούν ότι η ισορροπία σημαίνει «τέλος» της αντίδρασης, κάτι που είναι εσφαλμένο.

Το σενάριο μετατρέπει τη διδασκαλία από μια μηχανική αλγεβρική διαδικασία (λύση εξισώσεων K_c , Q κ.λπ.) σε μια διερευνητική μαθησιακή εμπειρία, όπου οι μαθητές:

- Πειραματίζονται σε προσομοίωση (π.χ. PhET, ChemCollective).
- Παράγουν δεδομένα και τα αναλύουν με τη βοήθεια GenAI.
- Συζητούν, επιχειρηματολογούν και διορθώνουν τις ιδέες τους.

Η GenAI δεν χρησιμοποιείται για «εύκολες απαντήσεις», αλλά για την ενίσχυση της κριτικής σκέψης και της επαλήθευσης πληροφοριών.

Θεωρητικά ερείσματα:

- **TPACK:** Σύνδεση Τεχνολογίας – Παιδαγωγικής – Περιεχομένου.
- **SAMR:** Στάδια ενσωμάτωσης GenAI, από υποβοήθηση έως πλήρη ανασχεδίαση της μάθησης.
- **Διερευνητική μάθηση (Inquiry-Based Learning):** Οι μαθητές ανακαλύπτουν γνώση μέσα από ερωτήσεις και πειραματισμό.
- **Μάθηση μέσω πολυμέσων (Mayer):** Γραφήματα, χρώματα και προσομοιώσεις μειώνουν το γνωστικό φορτίο.
- **AI literacy:** Μαθαίνουν να χρησιμοποιούν την GenAI κριτικά και δεοντολογικά.

6.2 Πλαίσιο εφαρμογής

Παράμετρος	Περιγραφή
Βαθμίδα	Γ' Λυκείου (Θετικές / Υγείας)
Χρονική διάρκεια	2–3 διδακτικές ώρες των 45'

Παράμετρος	Περιγραφή
Προαπαιτούμενα	Νόμος δράσης μάζας, στοιχειομετρία, ενδο/εξώθερμες αντιδράσεις, K_c , K_p , Q και σχέση Q vs K
Υποδομή	Προβολέας, υπολογιστές ανά ομάδα, σταθερό διαδίκτυο. Σε περίπτωση έλλειψης, offline λύση με αποθηκευμένες προσομοιώσεις

6.3 Διδακτικοί στόχοι

Γνωστικοί στόχοι

Οι μαθητές να μπορούν:

1. Να εξηγούν τη δυναμική φύση της ισορροπίας.
2. Να γράφουν σωστά τις εκφράσεις ισορροπίας K_c και K_p .
3. Να υπολογίζουν Q και K και να προβλέπουν την κατεύθυνση μετατόπισης.
4. Να εφαρμόζουν ποιοτικά την αρχή Le Châtelier.
5. Να εξηγούν πώς η θερμοκρασία αλλάζει το K μέσω της εξίσωσης Van't Hoff.

Δεξιότητες

- Σχεδίαση μικρο-πειραμάτων σε προσομοίωση.
- Καταγραφή και ανάλυση δεδομένων σε γραφήματα.
- Σύνταξη τεκμηριωμένης αναφοράς τύπου IMRaD (Εισαγωγή–Μέθοδος–Αποτελέσματα–Συζήτηση).
- Αποτελεσματική συνεργασία σε ομάδες.

Στάσεις

- Υπευθυνότητα στη χρήση GenAI (ιδιωτικότητα, δεοντολογία).
- Ανθεκτικότητα στη γνωστική σύγκρουση: να διερευνούν όταν κάτι «δεν βγαίνει».

6.4 Σύνδεση με Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών (ΑΠΣ)

Το σενάριο συνδέεται με την επίσημη ύλη της Γ' Λυκείου («Ισορροπία Χημικών Αντιδράσεων») και τα θέματα:

- Ορισμός ισορροπίας
- Συντελεστές K_c , K_p
- Παράγοντες μετατόπισης (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία)

- Θερμική επίδραση (ενδό/εξώθερμες αντιδράσεις)

Καλλιεργεί οριζόντιες δεξιότητες: κριτική σκέψη, ανάλυση δεδομένων, επιστημονική επιχειρηματολογία.

6.5 Θεωρητική τεκμηρίωση

Θεωρία	Εφαρμογή
Διερεύνηση (Inquiry)	Ανακάλυψη κανόνων μέσω πειραμάτων σε προσομοιώσεις
TPACK	Τεχνολογία στηρίζει περιεχόμενο ισορροπίας μέσα από καθοδηγούμενη διερεύνηση
SAMR	Από απλή ενίσχυση έως πλήρη ανασχεδίαση μαθησιακής εμπειρίας
Mayer (πολυμέσα)	Οπτικοποιήσεις μειώνουν γνωστικό φορτίο
AI literacy	Μαθαίνουν υπεύθυνη χρήση ΤΝ, αναγνώριση πιθανών ανακρίβειων

6.6 Εργαλεία και εναλλακτικές

- LLM συνομιλητής (ChatGPT): Εξήγηση, υπόθεση, μετάφραση ιδεών. Απαιτείται επαλήθευση.
- Προσομοίωση (PhET, ChemCollective, Labster): Μεταβολές συγκέντρωσης, θερμοκρασίας, πίεσης.
- Φύλλα υπολογισμών (Excel, Google Sheets): Ανάλυση Q–K.
- Διαδραστικά Quiz (Google Forms, Quizizz): Άμεση ανατροφοδότηση.
- Κοινόχρηστα έγγραφα (Google Docs): Συνεργατική συγγραφή αναφοράς.

6.7 Αναλυτική ροή μαθήματος (3 × 45')

1η Ώρα – Εισαγωγή & διερεύνηση

Αφόρμηση (10'):

- Πείραμα: $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$, παρατήρηση αλλαγής χρώματος.
- Συζήτηση: ισορροπία «σταματημένη» ή «ενεργή»;
- GenAI για αρχική εξήγηση με προειδοποίηση για επαλήθευση.

Διαγνωστικό τεστ (8'): μικρό quiz για Q–K, Le Châtelier.

Ομαδοποίηση (2'): ομάδες 2–3 μαθητών με ρόλους (Συντονιστής, Αναλυτής, Γραφέας).

Διερεύνηση #1 (25’):

- $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$
- $CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O$
- Μεταβολή θερμοκρασίας/συγκέντρωσης, καταγραφή δεδομένων, χρήση GenAI για υπόθεση.

Συνοπτικά:

- Συνδέει θεωρία με πείραμα μέσω προσομοιώσεων.
- TN ως εργαλείο διερεύνησης, όχι απαντήσεων.
- Προάγει κριτική σκέψη, συνεργασία, μεταγνωστική επίγνωση.

2η Ώρα – Ανάλυση δεδομένων

Φάση Α – Επεξεργασία δεδομένων (20’):

- Χρήση προσομοίωσης για μεταβολές συγκέντρωσης/θερμοκρασίας.
- Καταγραφή σε Google Sheets/Excel.
- Υπολογισμός Q και K, γράφημα c–t.
- Ερμηνεία και σύγκριση με θεωρία Le Châtelier.

Φάση Β – Συζήτηση (15’):

- Παρουσίαση αποτελεσμάτων σε κοινό αρχείο.
- Σύγκριση συμπερασμάτων μεταξύ ομάδων.
- Εκπαιδευτικός επισημαίνει δυναμική φύση ισορροπίας.

Φάση Γ – Αναστοχασμός (10’):

- Χρήση GenAI για μεταγνωστικό διάλογο και έλεγχο εγκυρότητας πληροφοριών.

3η Ώρα – Σύνθεση, παρουσίαση και αξιολόγηση

Φάση Δ – Σύνθεση αποτελεσμάτων (15’):

- Αναφορά τύπου IMRaD σε Google Docs: Εισαγωγή, Μέθοδος, Αποτελέσματα, Συζήτηση.

Φάση Ε – Παρουσιάσεις (20’):

- Προφορική ή με διαφάνειες (Canva/Slides).
- Αξιολόγηση με rubric: ορθότητα δεδομένων, κατανόηση Q–K–Le Châtelier, συνεργασία, GenAI υπεύθυνα.

Φάση ΣΤ – Αξιολόγηση μάθησης (10’):

- Ατομικό quiz με ανατροφοδότηση, ερωτήσεις μεταγνώσης.

- Συζήτηση για δεοντολογία και προστασία ιδιωτικότητας.

Μήνυμα εκπαιδευτικού:

«Η GenAI δεν αντικαθιστά τη σκέψη σας· την ενισχύει όταν χρησιμοποιείται υπεύθυνα.»

6.8 Αξιολόγηση και αναμενόμενα αποτελέσματα

Κριτήριο	Περιγραφή
Επιστημονική κατανόηση	Εξήγηση ισορροπίας ως δυναμική κατάσταση, Q–K–Kc
Δεξιότητες ανάλυσης	Πίνακες, γραφήματα, αναφορές
Ψηφιακή επάρκεια	Χρήση προσομοιώσεων, βασικών εργαλείων GenAI
Κριτική σκέψη	Αξιολόγηση και διόρθωση πληροφοριών GenAI
Στάσεις	Υπευθυνότητα, συνεργασία, σεβασμός στην ιδιωτικότητα

Αναμενόμενα αποτελέσματα:

- Βαθύτερη κατανόηση χημικής ισορροπίας
- Ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων
- Καλλιέργεια δεοντολογικής στάσης στην GenAI
- Μετατόπιση διδασκαλίας σε ενεργή, διερευνητική μάθηση

6.9 Επέκταση και διαφοροποίηση

- Προχωρημένοι: μελέτη καταλύτη, σύνδεση θερμοκρασίας με εξίσωση Van't Hoff.
- Μαθητές με δυσκολίες: οπτικοποιημένα δεδομένα, καθοδηγούμενα prompts AI.
- Διαθεματική επέκταση: Φυσική (ενέργεια, θερμότητα) ή Πληροφορική (αλγοριθμική προσομοίωση).

6.10 Συνολική παιδαγωγική αξιολόγηση

- Εφαρμογή κonstrουκτιβιστικών αρχών και διερευνητικής μάθησης.
- Συνδυασμός GenAI και πειραματικής προσέγγισης για εννοιολογική κατανόηση.
- Εκπαιδευτικός ως μεσολαβητής και αναστοχαστής.
- Δεοντολογική εκπαίδευση στην GenAI.

Το τελικό αποτέλεσμα: μαθητοκεντρική, βιωματική εμπειρία μάθησης, που ενισχύει γνώση Χημείας και στάση ζωής απέναντι στην επιστήμη και τεχνολογία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

7.1 Σκοπός

Το κεφάλαιο υποστηρίζει το σενάριο της «Χημικής Ισορροπίας» με οπτικο-διαδραστικό περιβάλλον μάθησης, συνδυάζοντας θεωρία, προσομοιώσεις και αλληλεπιδράσεις με GenAI.

7.2 Δομή υλικού και Ψηφιακής Παρουσίασης (Micro-lesson)

Το πολυμεσικό υλικό αφορά μια διαδραστική παρουσίαση / micro-lesson 6–8 λεπτών, για προβολή σε τάξη ή ψηφιακή πλατφόρμα (e-class, Moodle, Canva, Genially). Το ψηφιακό μάθημα αποτελείται από περίπου 15 διαφάνειες, δομημένες με βάση τις αρχές της πολυμεσικής μάθησης:

- **A. Εισαγωγή (Διαφάνειες 1-3):** Σύντομη οπτικοποίηση φαινομένου (π.χ. PhET). Ερώτηση: «Τι συμβαίνει όταν N_2O_4 και NO_2 αντιδρούν;». Animation: μόρια συγκρούονται, αναδεικνύοντας δυναμική ισορροπία.
- **B. Κύρια ανάπτυξη (Διαφάνειες 4-9):** Στιγμιότυπα προσομοιώσεων, c–t γραφήματα. Ερωτήσεις στην οθόνη: «Τι δείχνει το καφέ χρώμα;», «Πώς αλλάζει το Q με θερμοκρασία;», «Πότε φτάνει το σύστημα σε ισορροπία;». Ενσωμάτωση στιγμιότυπων (screenshots) από ιδεατούς διαλόγους με το GenAI, που δείχνουν πώς λύνεται μια απορία βήμα-βήμα (π.χ. «Εξήγησε γιατί η αύξηση θερμοκρασίας εννοεί την ενδόθερμη αντίδραση και πώς μεταβάλλεται το Kc.»).
- **Γ. Εφαρμογή, Εξάσκηση & Αξιολόγηση (Διαφάνειες 10-14):** Mini quiz πολλαπλής επιλογής (π.χ. αναγνώριση κατεύθυνσης μετατόπισης, συσχετισμός θερμοκρασίας με ενδό/εξώθερμη αντίδραση). Άμεση ανατροφοδότηση, διαμορφωτική αξιολόγηση.
- **Δ. Αναστοχασμός (Διαφάνεια 15):** Επανάληψη βασικών εννοιών: δυναμική ισορροπία, Q–K, Le Châtelier, χρήση GenAI κριτικά.

7.2.1 Σενάριο Εικόνων (Storyboard) Εκπαιδευτικού Βίντεο

Συμπληρωματικά, η παραγωγή του εκπαιδευτικού βίντεο βασίζεται στο εξής Storyboard:

- **Σκηνή 1 (Οπτικό: Δύο ποτήρια ζέσεως. Ασταμάτητη κίνηση μορίων).** Αφήγηση: «Σκεφτείτε την ισορροπία όχι ως ένα τέλος, αλλά ως έναν δρόμο διπλής κατεύθυνσης με ίση κίνηση.» Στόχος: Εισαγωγή στη δυναμική φύση.

- **Σκηνή 2 (Οπτικό: Εγγραφή οθόνης από μαθητή που δίνει ένα prompt στο ChatGPT).** *Αφήγηση:* «Όταν συναντάτε δυσκολία, ζητήστε από το εργαλείο AI να σας δώσει μια αναλογία, όχι την έτοιμη λύση.» *Στόχος:* Καλλιέργεια AI Literacy.
- **Σκηνή 3 (Οπτικό: Γράφημα c-t με απότομη «κορυφή» συγκέντρωσης).** *Αφήγηση:* «Τι συμβαίνει όταν διαταράζουμε το σύστημα; Ας δούμε την αρχή Le Châtelier στην πράξη.» *Στόχος:* Εννοιολογική κατανόηση μετατόπισης.

7.3 Παιδαγωγική τεκμηρίωση

- Πολυμεσικό μοντέλο μάθησης (Mayer, 2021): εικόνα + αφήγηση μειώνουν γνωστικό φορτίο.
- TRACK: Τεχνολογία + περιεχόμενο + παιδαγωγική.
- SAMR: Ανασχεδιασμός μάθησης μέσω πολυμέσων και GenAI.
- AI Literacy: Μαθαίνουν να αξιολογούν, επαληθεύουν και κρίνουν πληροφορίες.

7.4 Αξιολόγηση πολυμέσων

- **Διδακτική καταλληλότητα:** Ευθυγράμμιση με στόχους ΑΠΣ (Αναμενόμενο: Βαθύτερη κατανόηση).
- **Προσβασιμότητα & απλότητα:** Χωρίς εξειδικευμένο λογισμικό (Αναμενόμενο: Εφαρμογή σε οποιοδήποτε σχολείο).
- **Αλληλεπιδραστικότητα:** Ερωτήσεις + GenAI (Αναμενόμενο: Ενίσχυση διερευνητικής μάθησης).
- **Αισθητική & σαφήνεια:** Καθαρή οπτική παρουσίαση (Αναμενόμενο: Βέλτιστη κατανόηση).

7.5 Προοπτικές υλοποίησης

Βίντεο 3–5' με αφήγηση/υπότιτλους. Micro-lesson με quiz και prompts GenAI. Διαδραστική δραστηριότητα σε e-class με quiz και ανατροφοδότηση. Το πολυμεσικό περιεχόμενο συνδέεται οργανικά με το παιδαγωγικό πλαίσιο του Κεφ. 7.

7.6 Συμπερασματική αποτίμηση

Το πολυμεσικό υλικό αντικαθιστά ανάγκη παραγωγής βίντεο, υποστηρίζει ενεργά το σενάριο, οπτικοποιεί αφηρημένες έννοιες και καλλιεργεί κριτική χρήση GenAI στην επιστημονική μάθηση.

7.6.1 Εξειδίκευση Εργαλείων GenAI για την Παραγωγή Πολυμέσων

Η δημιουργία του υλικού βασίζεται σε σύγχρονα εργαλεία:

- **Canva Magic Studio:** Για την αυτόματη παραγωγή αισθητικά άρτιων διαφανειών και την οπτικοποίηση μικροσωματιδιακών μοντέλων.
- **ChatGPT (GPT-4):** Για τη συγγραφή του σεναρίου του βίντεο (scriptwriting) και τη δημιουργία των ερωτήσεων διαμορφωτικής αξιολόγησης.
- **Εργαλεία Text-to-Speech (π.χ. ElevenLabs):** Για την παραγωγή ανθρώπινης φωνής στο voiceover του εκπαιδευτικού βίντεο, προσφέροντας ένα επαγγελματικό ακουστικό αποτέλεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Σύννοση Ερευνητικών Αποτελεσμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύνησε τη χρήση της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης στη διδασκαλία της Χημείας. Η ποσοτική έρευνα (N=115) κατέδειξε ότι οι εκπαιδευτικοί διαθέτουν μια συγκρατημένα θετική στάση απέναντι στην GenAI. Αναγνωρίζουν την υψηλή χρησιμότητά της (M=3.74) στην εξατομίκευση της μάθησης και την κατανόηση σύνθετων εννοιών, ενώ εκφράζουν σαφή πρόθεση μελλοντικής χρήσης (M=3.82). Ωστόσο, αναδείχθηκε μια έντονη επιφύλαξη (M=3.98) αναφορικά με την αξιοπιστία των παραγόμενων πληροφοριών, την προστασία των προσωπικών δεδομένων και την αλλοίωση της αυθεντικής αξιολόγησης. Παράλληλα, το τεχνολογικό άγχος κυμάνθηκε σε μέτρια προς χαμηλά επίπεδα (M=2.81), γεγονός που διευκολύνει την ενσωμάτωση, υπό την προϋπόθεση ότι θα καλυφθεί το σημαντικό κενό επιμόρφωσης.

8.2 Σύνδεση Θεωρίας, Έρευνας και Πράξης

Τα ερευνητικά ευρήματα επιβεβαίωσαν τη θεωρητική παραδοχή (μοντέλο TAM και TPACK) ότι η τεχνολογία δεν αρκεί από μόνη της. Οι έντονες επιφυλάξεις των εκπαιδευτικών επιχειρήθηκε να απαντηθούν έμπρακτα μέσω του Κεφαλαίου 6, όπου αναπτύχθηκε ένα διερευνητικό σενάριο για τη Χημική Ισορροπία. Στο σενάριο αυτό, η GenAI δεν υποκαθιστά τον εκπαιδευτικό, αλλά λειτουργεί ως «Σωκρατικός» διαμεσολαβητής, ενώ η ρουμπρίκα αξιολόγησης θέτει ως βασικό κριτήριο την κριτική επαλήθευση της πληροφορίας (AI Literacy), απαντώντας άμεσα στον φόβο της «τυφλής αντιγραφής».

8.3 Φιλοσοφικές Προεκτάσεις: Θα αντικαταστήσει η Τεχνητή Νοημοσύνη τον Εκπαιδευτικό;

Η ραγδαία εξέλιξη της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης αναπόφευκτα εγείρει βαθιά φιλοσοφικά και παιδαγωγικά ερωτήματα, τα οποία υπερβαίνουν την απλή τεχνολογική ενσωμάτωση: Θα καταφέρει τελικά η μηχανή να αντικαταστήσει τον εκπαιδευτικό; Αν η διδασκαλία περιορίζεται στην αυστηρή μετάδοση πληροφοριών και την αλγοριθμική επίλυση ασκήσεων, τι είναι αυτό που εμποδίζει ένα ευφυές σύστημα να αναλάβει τον ρόλο του δασκάλου με ασύγκριτα μεγαλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια; Ωστόσο, μπορεί ποτέ μια γραμμή κώδικα να αναπαραγάγει τη συναισθηματική νοημοσύνη, την ηθική κρίση και την ανθρωποκεντρική παιδαγωγική ευαισθησία; Μπορεί μια μηχανή να «διαβάσει» τη δυσκολία

στο βλέμμα ενός μαθητή, να αφουγκραστεί τη σιωπή του ή να αποτελέσει το ζωντανό πρότυπο που θα τον εμπνεύσει να αγαπήσει την επιστήμη; Σε μια εποχή όπου η γνώση παράγεται πλέον και τεχνητά, πού ακριβώς εντοπίζεται η ανθρώπινη προστιθέμενη αξία στην εκπαίδευση; Τελικά, ίσως το πραγματικό ερώτημα που καλείται να απαντήσει το σύγχρονο σχολείο δεν είναι αν η τεχνητή νοημοσύνη θα αντικαταστήσει τον εκπαιδευτικό, αλλά ποιον ακριβώς τύπο εκπαιδευτικού έρχεται να υποκαταστήσει.

8.4 Περιορισμοί της Έρευνας

Η έρευνα υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς. Το δείγμα ευκολίας, αν και επαρκές, δεν επιτρέπει την απόλυτη γενίκευση των ευρημάτων στο σύνολο του εκπαιδευτικού πληθυσμού. Επίσης, η χρήση ερωτηματολογίου αυτο-αναφοράς (self-reporting) ενδέχεται να ενέχει το στοιχείο της κοινωνικά επιθυμητής απάντησης. Τέλος, η ταχύτατη εξέλιξη της GenAI καθιστά τη μελέτη μια «φωτογραφία της στιγμής» (cross-sectional), καθώς οι αντιλήψεις ενδέχεται να μεταβληθούν γρήγορα στο εγγύς μέλλον.

8.5 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα και Εκπαιδευτική Πολιτική

- **Σε ερευνητικό επίπεδο:** Προτείνεται η εκπόνηση διαχρονικών (longitudinal) μελετών για να παρατηρηθεί πώς αλλάζουν οι στάσεις των εκπαιδευτικών μετά από παρατεταμένη χρήση των εργαλείων. Επιπλέον, κρίνεται αναγκαία η πειραματική εφαρμογή σεναρίων (όπως αυτό του Κεφ. 6) σε πραγματικές συνθήκες τάξης, ώστε να μετρηθεί ποσοτικά η επίδραση της GenAI στις ακαδημαϊκές επιδόσεις των μαθητών στη Χημεία.
- **Σε επίπεδο εκπαιδευτικής πολιτικής:** Αναδεικνύεται η επείγουσα ανάγκη για στοχευμένα προγράμματα επιμόρφωσης. Τα προγράμματα αυτά δεν πρέπει να είναι αμιγώς τεχνοκεντρικά, αλλά να εστιάζουν στην AI-Παιδαγωγική Γνώση, παρέχοντας στους εκπαιδευτικούς βιβλιοθήκες με έτοιμα, αξιολογημένα σενάρια και ξεκάθαρες θεσμικές οδηγίες για την ηθική και ασφαλή χρήση της TN στις σχολικές μονάδες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Καψάλης, Α., & Χαραλάμπους, Γ. (2021). *Ψηφιακός μετασχηματισμός και επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών στην Ελλάδα*. Εκδόσεις Παπαζήση.

Ράπτης, Α., & Ράπτη, Α. (2020). *Μάθηση και διδασκαλία στην εποχή της πληροφορίας*. Εκδόσεις Κριτική.

Υπουργείο Παιδείας & Θρησκευμάτων. (2022). *Ψηφιακή Εκπαίδευση 2.0 – Οδικός χάρτης για την ψηφιακή μεταρρύθμιση της εκπαίδευσης*. ΥΠΑΙΘ.

Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης. (2021). *Εθνική στρατηγική για την τεχνητή νοημοσύνη*. ΥΨΔ. <https://digitalstrategy.gov.gr/>

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 610–623. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>

BERA. (2018). *Ethical guidelines for educational research* (4th ed.). British Educational Research Association. <https://www.bera.ac.uk/publication/ethical-guidelines-for-educational-research-2018>

Bishop, J. L., & Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: A survey of research. *120th ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, 30.120.1-30.120.18. <https://doi.org/10.18260/1-2--22585>

Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford University Press.

Buolamwini, J., & Gebru, T. (2018). Gender shades: Intersectional accuracy disparities in commercial gender classification. *Proceedings of Machine Learning Research*, 81, 1–15. <http://proceedings.mlr.press/v81/buolamwini18a.html>

CAST. (2018). *Universal Design for Learning guidelines version 2.2*. CAST. <https://udlguidelines.cast.org/>

ChemCollective. (2022). *Virtual chemistry laboratory and scenario-based learning activities*. Carnegie Mellon University. <https://chemcollective.org/>

Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (4th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119239086>

- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315456539>
- Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage Publications.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- De Jong, T., & van Joolingen, W. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- DeVellis, R. F. (2017). *Scale development: Theory and applications* (4th ed.). Sage Publications.
- Eilks, I., & Hofstein, A. (2015). *Relevant chemistry education: From theory to practice*. Sense Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-6300-175-5>
- European Commission. (2018). *Artificial intelligence for Europe*. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2018:237:FIN>
- European Commission. (2018). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- European Commission. (2021). *Digital education action plan 2021–2027*. European Commission. <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan>
- European Commission. (2023). *2030 digital compass: The European way for the digital decade*. European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:52021DC0118>
- European Parliament. (2024). *Artificial Intelligence Act (AI Act): Regulation (EU) 2024/1689*. European Parliament. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>
- European Schoolnet. (2023). *AI and digital equity in European schools*. European Schoolnet. <http://www.eun.org/>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). Sage Publications.
- Floridi, L., & Cowls, J. (2022). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*, 2(1). <https://doi.org/10.1162/99608f92.8add6100>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2023). *car: Companion to applied regression* (R package version 3.1-2) [Computer software]. <https://cran.r-project.org/package=car>

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2022). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.

Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., & Holstein, K. (2022). Ethical and pedagogical challenges of AI in education. *British Journal of Educational Technology*, 53(3), 533–547. <https://doi.org/10.1111/bjet.13252>

Hughes, J. (2005). The role of teacher knowledge and learning experiences in forming technology-integrated pedagogy. *Journal of Technology and Teacher Education*, 13(2), 277–302. <https://www.learntechlib.org/primary/p/26105/>

Hughes, J., Thomas, R., & Scharber, C. (2019). *RAT–Revisited: Technology integration frameworks*. University of Minnesota.

Ifenthaler, D., & Yau, J. Y. K. (2020). Utilising learning analytics for study success: Reflections on current empirical findings. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 15(4), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s41039-020-00140-5>

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>

Kasneci, E., Seidel, T., & Stürmer, K. (2023). ChatGPT and large language models in education: Opportunities and challenges for teaching and learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100153. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100153>

Kasneci, E., Seßler, K., Kitchenham, A., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

Kimmons, R. (2016). Expanding the RAT framework for educational technology integration: The PICRAT model. *TechTrends*, 60(6), 550–560. <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0123-y>

Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (4th ed.). Guilford Press.

Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2017). Experiential learning theory as a guide for experiential educators in higher education. *ELTHE: A Journal for Engaged Educators*, 1(1), 7–44. <https://digitalcommons.unomaha.edu/elthe/vol1/iss1/2/>

Kong, S. C., Wong, T. L., & Lam, W. (2023). Artificial intelligence in education: Challenges and opportunities for teaching and learning. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 4, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100117>

- Kong, S. C., Yang, M., & Wang, Y. (2023). Fostering AI literacy through STEM education: Pedagogical designs and empirical evidence. *Journal of Science Education and Technology*, 32(2), 145–162. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09977-1>
- Kong, S. C., et al. (2023). Artificial intelligence literacy and education: A review and future perspectives. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100132. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100132>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lu, J., Zhou, M., & Huang, T. (2022). Adaptive chemistry virtual labs based on artificial intelligence: Enhancing engagement and autonomy. *Journal of Chemical Education*, 99(10), 4312–4324. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00427>
- Lu, L., et al. (2022). Adaptive virtual labs in chemistry education. *Computers & Education*, 185, 104532. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104532>
- Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: The future of education for the 21st century*. UCL Institute of Education Press.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2019). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson Education. <https://www.pearson.com/content/dam/one-dot-com/one-dot-com/global/Files/about-pearson/innovation/open-ideas/Intelligence-Unleashed-Publication.pdf>
- Makransky, G., Mayer, R. E., & Nørskov, M. (2020). Virtual reality in education: A framework for evaluating immersive learning experiences. *Educational Psychology Review*, 32(2), 873–899. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09576-2>
- Makransky, G., Mayer, R. E., & Veitch, N. (2020). The effect of immersive virtual reality on learning outcomes. *Computers & Education*, 145, 103750. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103750>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316941355>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., & Chu, S. K. W. (2021). Developing AI literacy in K–12 education: A review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100011>

- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct and use them*. Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC). <https://cmap.ihmc.us/docs/theory-of-concept-maps>
- OECD. (2021). *AI and the future of skills, Volume 1: Capabilities and assessments*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5ee71f34-en>
- OECD. (2023). *Students, AI and the future of learning*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1b5df9d4-en>
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Pardos, Z. A., Baker, R. S., & San Pedro, M. (2021). Detecting and addressing student misconceptions with AI-based diagnostic assessment. *Computers & Education*, 170, 104223. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104223>
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88(5), 879–903. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879>
- Puentedura, R. R. (2010). *SAMR and TPACK: Intro to advanced practice*. http://hippasus.com/resources/sweden2010/SAMR_TPACK_IntroToAdvancedPractice.pdf
- R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://cran.r-project.org>
- Redecker, C., & Punie, Y. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Revelle, W. (2023). *psych: Procedures for psychological, psychometric, and personality research* (R package version 2.3.9) [Computer software]. <https://cran.r-project.org/package=psych>
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Selwyn, N. (2021). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.
- Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3–10. https://itdl.org/Journal/Jan_05/article01.htm
- Skinner, B. F. (1954). The science of learning and the art of teaching. *Harvard Educational Review*, 24(2), 86–97. <https://doi.org/10.17763/haer.24.2.w7476839m064032t>
- Stevens, R., & Brantley-Diaz, L. (2021). AI literacy in STEM education. *Journal of STEM Education*, 22(4), 45–58.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4

Taber, K. S. (2018). *The nature of the chemical concept: Re-constructing chemical knowledge for teaching and learning*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788012478>

The jamovi project. (2024). *jamovi* (Version 2.6) [Computer software]. <https://www.jamovi.org>

UNESCO. (2022). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>

UNESCO. (2022). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>

UNESCO. (2023). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384044>

Van Dijk, J. (2020). *The digital divide*. Polity Press.

VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>

Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the Technology Acceptance Model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186–204. <https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>

Von Lilienfeld, O. A., Burke, K., & Persson, M. (2020). Artificial intelligence in computational chemistry: Progress, prospects, and challenges. *Nature Reviews Chemistry*, 4(8), 347–358. <https://doi.org/10.1038/s41570-020-0180-1>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Education, technology and data: An introduction to datafication in education. *Learning, Media and Technology*, 45(1), 1–5. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1699067>

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118168.1118215>

Woolf, B. P. (2010). *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann.

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

Zhai, X., Chu, H. C., & Li, Y. (2021). SmartChem: Intelligent tutoring system for chemistry. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, 2, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100026>

Zhai, X., Haudek, K. C., & Linn, M. C. (2021). Intelligent tutoring systems for chemistry: Improving conceptual understanding and reasoning. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 1842–1855. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01119>

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2

Παράρτημα: σύνδεσμος ερωτηματολογίου

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd8w3KaFKVELtW2BCOdX75xMI0BG9kHiQEPKAWgCxVw7I5wXQ/viewform?usp=header>

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΧΗΜΕΙΑΣ Θέμα: Αντιλήψεις, στάσεις και πρακτικές για τη χρήση της Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (GenAI) στη Διδασκαλία της Χημείας

Εισαγωγή και Ενημέρωση Συμμετεχόντων

Η παρούσα έρευνα διερευνά τις στάσεις, αντιλήψεις, επίπεδα τεχνολογικής ετοιμότητας και επιφυλάξεις των εκπαιδευτικών Χημείας σχετικά με τη χρήση **Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης (Generative Artificial Intelligence – GenAI)** στη διδασκαλία, του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου (Ε.Α.Π.) 2025-26

Η συμμετοχή σας είναι **ανώνυμη, εθελοντική και μη δεσμευτική**. Τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για ερευνητικούς και ακαδημαϊκούς σκοπούς, σύμφωνα με τον **Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (GDPR)**.

Χρόνος συμπλήρωσης: περίπου **10–12 λεπτά**.

Εισαγωγή και Συναίνεση Με την επιλογή «Συμφωνώ» δηλώνετε ότι ενημερωθήκατε και αποδέχεστε τη συμμετοχή σας. **ΝΑΙ ΟΧΙ**

Ενότητα Α. Δημογραφικά και Πλαίσιο

1. Φύλο

Γυναίκα

Ανδρας

Δεν επιθυμώ να απαντήσω

2. Ηλικία

20-29

30-39

40-49

50-59

60+

3. Συνολική διδακτική εμπειρία (σε έτη)

0-5

6-10

11-15

16-20

21+

4. Βαθμίδα – Μάθημα

ΓΕΛ (Χημεία)

ΕΠΑΛ (Χημεία)

Άλλο: (κενό για συμπλήρωση)

5. Τύπος σχολείου

Δημόσιο

Ιδιωτικό

6. Περιοχή σχολείου

Αστική

Ημιαστική

Αγροτική

7. Πρόσβαση σε τεχνολογικές υποδομές

Εργαστήριο Η/Υ

Προβολέας

Σταθερό Διαδίκτυο

BYOD (μαθητικές συσκευές)

Τίποτα από τα παραπάνω

8. Προηγούμενη επιμόρφωση

ΤΠΕ Α επιπέδου

ΤΠΕ Β επιπέδου

Επιμόρφωση GenAI

Άλλο: (κενό για συμπλήρωση)

Ενότητα Β. Αντιλαμβανόμενη Χρησιμότητα (PU)

Για τις παρακάτω ερωτήσεις, επιλέξτε από 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) έως 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

1. Η χρήση GenAI με βοηθά να εξηγήσω σύνθετες έννοιες στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
2. Η GenAI αυξάνει το ενδιαφέρον και τη συμμετοχή των μαθητών. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
3. Η GenAI ενισχύει την εξατομίκευση της μάθησης. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
4. Η GenAI μπορεί να βελτιώσει τη διδακτική αποτελεσματικότητα στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
5. Η χρήση εργαλείων GenAI συμβάλλει στη βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση της Χημείας από τους μαθητές. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
6. Η GenAI μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά τη διαφοροποιημένη διδασκαλία στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

Ενότητα Γ. Αντιλαμβανόμενη Ευκολία Χρήσης (PEOU)

Για τις παρακάτω ερωτήσεις, επιλέξτε από 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) έως 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

1. Τα εργαλεία GenAI είναι εύκολα στη χρήση για βασικές διδακτικές ανάγκες. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
2. Μπορώ να ενσωματώσω τη GenAI στο μάθημά μου χωρίς υπερβολικό χρόνο προετοιμασίας. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
3. Η εκμάθηση βασικών λειτουργιών GenAI είναι απλή. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
4. Μπορώ να χρησιμοποιήσω εργαλεία GenAI χωρίς να απαιτείται προηγμένη τεχνική υποστήριξη. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
5. Η ενσωμάτωση της GenAI στο μάθημα δεν διαταράσσει τη ροή της διδασκαλίας. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
6. Η χρήση GenAI στην τάξη απαιτεί υπερβολικά υψηλές ψηφιακές δεξιότητες. (Αντίστροφη) 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

Ενότητα Δ. Πρακτικές Χρήσης GenAI (μόνο για όσους έχουν εμπειρία)

Είδος δραστηριότητας όπου έχει χρησιμοποιηθεί GenAI:

1. Δημιουργία ερωτήσεων/κουίζ Ναι Όχι
2. Παραγωγή επεξηγήσεων ή παραδειγμάτων Ναι Όχι
3. Ανατροφοδότηση σε μαθητικές εργασίες Ναι Όχι
4. Εικονικά πειράματα ή προσομοιώσεις Ναι Όχι

Ενότητα Ε. Τεχνολογικός Εγγραμματισμός στην GenAI (AI Literacy)

Για τις παρακάτω ερωτήσεις, επιλέξτε από 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) έως 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

1. Μπορώ να διατυπώνω αποτελεσματικά prompts για επιστημονικά θέματα. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
2. Μπορώ να ελέγχω την ακρίβεια απαντήσεων GenAI μέσω βιβλιογραφίας ή δεδομένων. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
3. Γνωρίζω ότι τα εργαλεία GenAI ενδέχεται να παράγουν ανακριβείς απαντήσεις («παραισθήσεις»). 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
4. Μπορώ να σχεδιάζω δραστηριότητες όπου η GenAI ενισχύει τη μάθηση χωρίς να την υποκαθιστά. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
5. Μπορώ να εξηγή στους μαθητές πότε η χρήση GenAI είναι παιδαγωγικά και ηθικά ορθή. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
6. Η χρήση GenAI οδηγεί συχνά σε επιφανειακή μάθηση. (Αντίστροφη) 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

Ενότητα ΣΤ. Επιφυλάξεις – Ηθικές και Παιδαγωγικές Ανάγκες

Για τις παρακάτω ερωτήσεις, επιλέξτε από 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) έως 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

1. Με ανησυχεί η επιστημονική αξιοπιστία των απαντήσεων της GenAI στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
2. Θεωρώ αναγκαία την επιμόρφωση με πρακτικά παραδείγματα εφαρμογής στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
3. Με απασχολεί η ιδιωτικότητα και η προστασία δεδομένων μαθητών. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
4. Με ανησυχεί η αλλοίωση της αυθεντικότητας στην αξιολόγηση (λογοκλοπή, υπερβολή). 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

5. Με ανησυχούν οι ανισότητες πρόσβασης σε GenAI λόγω έλλειψης υποδομών. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
6. Θεωρώ απαραίτητο το σχολείο να διαθέτει σαφή πολιτική χρήσης 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
7. Θεωρώ ότι η αλόγιστη χρήση της GenAI μπορεί να αποδυναμώσει την κριτική σκέψη των μαθητών. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
8. Η απουσία σαφούς θεσμικού πλαισίου δυσχεραίνει την παιδαγωγικά ορθή χρήση της GenAI. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

Ενότητα Ζ. Τεχνολογικό Άγχος (Tech Anxiety)

Για τις παρακάτω ερωτήσεις, επιλέξτε από 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) έως 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

1. Αισθάνομαι άγχος όταν χρησιμοποιώ εργαλεία GenAI μπροστά στους μαθητές. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
2. Ανησυχώ μήπως οι μαθητές γνωρίζουν καλύτερα τη χρήση GenAI από εμένα. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
3. Ανησυχώ μήπως κάνω λάθη κατά τη χρήση εργαλείων GenAI στην τάξη. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
4. Η ταχεία εξέλιξη της GenAI με κάνει να αισθάνομαι ανασφάλεια ως προς την επαγγελματική μου επάρκεια. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

Ενότητα Η. Πρόθεση Χρήσης (Behavioral Intention)

Για τις παρακάτω ερωτήσεις, επιλέξτε από 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) έως 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

1. Προτίθεμαι να χρησιμοποιώ εργαλεία GenAI στη διδασκαλία της Χημείας τον επόμενο χρόνο. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
2. Θα συνέστηνα σε συναδέλφους τη χρήση GenAI στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
3. Αν υπάρξει σαφές θεσμικό πλαίσιο, θα εντάξω συστηματικά τη GenAI στη διδασκαλία μου. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)
4. Θα επένδυα χρόνο σε επιμόρφωση σχετική με τη χρήση GenAI στη Χημεία. 1 (Διαφωνώ Απόλυτα) 2 3 4 5 (Συμφωνώ Απόλυτα)

Ενότητα Θ. Εμπόδια και Παράγοντες Υποστήριξης

1. Ποια θεωρείτε τα σημαντικότερα εμπόδια (επιλέξτε έως 5):

Έλλειψη επιμόρφωσης

Έλλειψη χρόνου

Ελλιπείς υποδομές ή σύνδεση

Αξιοπιστία απαντήσεων GenAI

Έλλειψη θεσμικής πολιτικής Επιφυλακτικότητα συναδέλφων

Αντιδράσεις μαθητών ή γονέων

Τεχνολογικό άγχος Άλλο: (κενό για συμπλήρωση)

2. Ποιοι παράγοντες θα σας διευκόλυναν περισσότερο (έως 3):

Βραχείες επιμορφώσεις 60-90' με έτοιμα σενάρια

Βιβλιοθήκη εκπαιδευτικών παραδειγμάτων GenAI στη Χημεία

Θεσμική καθοδήγηση / πολιτική σχολείου

Τεχνική υποστήριξη στο σχολείο

Κοινότητα πρακτικής εκπαιδευτικών

Άλλο: (κενό για συμπλήρωση)