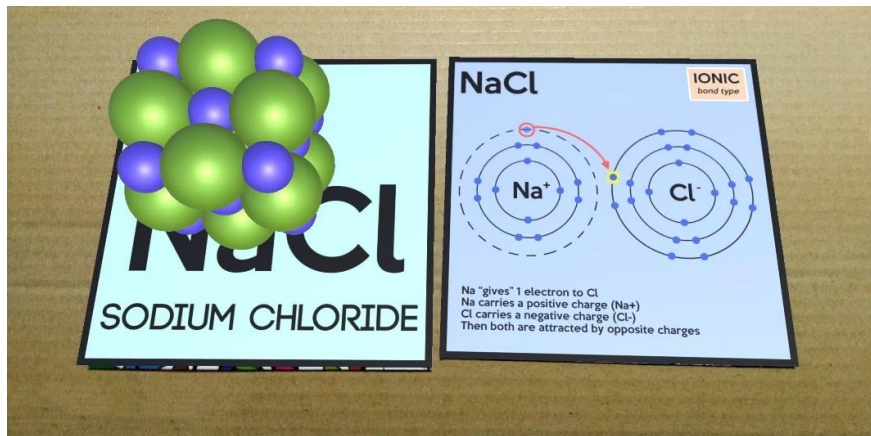


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Συστηματική και κριτική ανασκόπηση της χρήσης της
Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διδασκαλία της
Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση»



Του φοιτητή
Κουργιαννίδη Ιορδάνη
Αρ. Μητρώου: 123910

Επιβλέπων
Ευκλείδης Κεραμόπουλος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Ημερομηνία 16/6/2023

Τίτλος Δ.Ε.: Συστηματική και κριτική ανασκόπηση της χρήσης της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Κωδικός Δ.Ε. 22162

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Κουργιαννίδης Ιορδάνης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Κεραμόπουλος Ευκλείδης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 18/3/2022

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 16/6/2023

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κουργιαννίδη Ιορδάνη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί σημαντικά η παρουσία της Επαυξημένης Πραγματικότητας στον τομέα της εκπαίδευσης, όπου η χρήση της ενισχύει την αποδοτικότητα της διδασκαλίας, καθώς προσδίδει διαδραστικό και διασκεδαστικό χαρακτήρα στην διαδικασία εκμάθησης, ενσωματώνοντας ψηφιακές πληροφορίες στο περιβάλλον του χρήστη σε πραγματικό χρόνο.

Η χημεία είναι μια βασική φυσική επιστήμη που μελετά τις ιδιότητες, τη σύνθεση, τις δομές και τις αλλαγές της ύλης. Είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη πολλών προηγμένων και εφαρμοσμένων επιστημών, ενώ επίσης δίνει έμφαση τόσο στη θεωρία όσο και στον πειραματισμό. Λόγω όμως της φύσης του μαθήματος, είναι δύσκολη πολλές φορές η κατανόηση από τους μαθητές, ενώ άλλες φορές γίνονται παρανοήσεις κατά την εκμάθηση.

Κάνοντας χρήση της τεχνολογίας της Επαυξημένης Πραγματικότητας ως μέσο εκμάθησης στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, οι μαθητές μπορούν κατανοήσουν πιο εύκολα αφηρημένες έννοιες, μέσω της οπτικοποίησης και της διαδραστικότητας, αυξάνοντας το ενδιαφέρον και συνδιάζοντας τη θεωρία με την πράξη.

Ωστόσο, υπάρχει περιορισμένος αριθμός άρθρων συστηματικής αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής της Επαυξημένης Πραγματικότητας στο μάθημα της Χημείας. Η παρούσα Διπλωματική Εργασία, μέσω της συλλογής και μελέτης σχετικών ερευνών [1-46], προσπαθεί να εμβαθύνει στο θέμα της χρήσης της Επαυξημένης Πραγματικότητας με στόχο την εκμάθηση της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Περίληψη

Οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν αφηρημένες έννοιες στη χημεία ενώ μερικές φορές γίνονται και παρανοήσεις. Η Επαυξημένη Πραγματικότητα μπορεί να προσφέρει μια νέα πιο διαδραστική διαδικασία εκμάθησης τέτοιων εννοιών και φαινομένων ενσωματώνοντας ψηφιακά στοιχεία στον πραγματικό κόσμο σε πραγματικό χρόνο. Η παρούσα μελέτη εξετάζει την υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τη χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Πραγματοποιήθηκε μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση σύμφωνα με το πρωτόκολλο PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Για την παροχή πλήρους και έγκυρης πληροφόρησης, διερευνήθηκαν όλα τα είδη σχετικών μελετών όλα αυτά τα χρόνια. Συνολικά, εξετάστηκαν 702 άρθρα από 5 βάσεις δεδομένων (Scopus, Web of Science, IEEE, ERIC και Science Direct). Με βάση τα αποτελέσματα, η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διδασκαλία της Χημείας μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη στους μαθητές, όπως καλύτερη επίδοση, δέσμευση, διατήρηση γνώσεων, θετικά συναισθήματα, κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, μεταφορά γνώσης και μείωση του γνωστικού φορτίου. Αν και υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως τεχνικά ζητήματα, έγινε σαφές ότι η Επαυξημένη Πραγματικότητα έχει μεγάλες δυνατότητες και μπορεί να γίνει ένα εξαιρετικό εργαλείο για τη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, με την κατάλληλη προετοιμασία και ενσωμάτωση.

Λέξεις κλειδιά: εκπαιδευτική τεχνολογία, εκτεταμένη πραγματικότητα, επαυξημένη πραγματικότητα, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, χημεία, συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση

«A Systematic review of Augmented Reality for teaching Chemistry in secondary education»

Kourgiannidis Iordanis

Abstract

Students often have difficulty understanding abstract concepts in chemistry while sometimes there are even misunderstandings. Augmented Reality can provide a new more interactive learning process of such concepts and phenomena by integrating digital elements with the real world in real time. This study examines the existing literature regarding the use of augmented reality in chemistry teaching of secondary education. A systematic literature review was conducted following the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement. To provide complete and valid information, all types of related studies throughout the years were investigated. In total, 702 articles from 5 databases (Scopus, Web of Science, IEEE, ERIC and Science Direct) were examined. Based on the results, using augmented reality in chemistry teaching can yield several benefits for students, such as, increased achievement, engagement, knowledge retention, positive emotions, social interactions, knowledge transfer and reduce in cognitive load. Although, there are some challenges that have to be faced, like technical issues, it was made clear that augmented reality has great potential and can become a great tool for chemistry teaching in secondary education, with the appropriate preparation and integration.

Keywords: educational technology, extended reality, augmented reality, secondary education, chemistry, systematic literature review

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Δ.Ε. θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, Ευκλείδη Κεραμόπουλο, για την άμεση ανταπόκρισή του, όποτε χρειάστηκα καθοδήγηση, καθώς και την οικογένεια μου για την στήριξη που μού παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract	v
Ευχαριστίες	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Συνομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1° : Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2° : Εκτεταμένη Πραγματικότητα	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Εικονική Πραγματικότητα	4
2.3 Επαυξημένη Πραγματικότητα.....	7
2.4 Μικτή Πραγματικότητα.....	9
2.5 Επίλογος.....	11
Κεφάλαιο 3° : Η Επαυξημένη Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση.....	13
3.1 Εισαγωγή.....	13
3.2 Οι τρεις γενιές της AR στην Εκπαίδευση.....	13
3.2.1 Πρώτη γενιά	13
3.2.2 Δεύτερη γενιά	14
3.2.3 Τρίτη γενιά	14
3.3 Επίλογος.....	15
Κεφάλαιο 4° : Μεθοδολογία.....	17
4.1 Εισαγωγή.....	17
4.2 Σχέδιο Έρευνας	17
4.3 Διαδικασία Συστηματικής Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης.....	18
4.4 Επίλογος.....	19
Κεφάλαιο 5° : Αποτελέσματα.....	21
5.1 Εισαγωγή.....	21
5.2 Απαντήσεις Ερωτημάτων	28
5.2.1 Χρονιές και χώρες που πραγματοποιήθηκαν οι έρευνες	28
5.2.2 Οφέλη του AR στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.....	33

5.2.3 Προκλήσεις της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας.....	36
5.2.4 Μέθοδοι έρευνας και ερευνητικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν.....	38
5.2.5 Μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων στα πειράματα των ερευνών	41
5.2.6 Χαρακτηριστικά της συμμετοχής των μαθητών στα πειράματα των ερευνών	44
5.2.7 Επίπεδα αναπαράστασης της Χημείας όπου εφαρμόστηκε η AR.....	48
5.2.8 Τύποι AR που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων	51
5.2.9 Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων	54
5.2.10 Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των εφαρμογών AR.....	58
5.3 Επίλογος.....	61
Κεφάλαιο 6° : Συμπεράσματα	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1- 1: Σύσταση Εκτεταμένης Πραγματικότητας	3
Σχήμα 2.1- 2: Συσκευές Εκτεταμένης Πραγματικότητας	3
Σχήμα 2.2- 1: Λειτουργία Εικονικής Πραγματικότητας	4
Σχήμα 2.2- 2: Σύστημα "Sensorama"	4
Σχήμα 2.2- 3: Σύστημα "The Sword of Damocles".....	5
Σχήμα 2.2- 4: Συσκευές Εικονικής Πραγματικότητας.....	5
Σχήμα 2.2- 5: Παράδειγμα χρήσης της Εικονικής Πραγματικότητας.....	6
Σχήμα 2.3- 1: Λειτουργία Επαυξημένης Πραγματικότητας.....	7
Σχήμα 2.3- 2: Marker-based χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας	7
Σχήμα 2.3- 3: Συσκευές Επαυξημένης Πραγματικότητας	8
Σχήμα 2.3- 4: Εμπορική χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας.....	8
Σχήμα 2.4- 1: Λειτουργία Μικτής Πραγματικότητας	9
Σχήμα 2.4- 2: Φάσμα Πραγματικότητας-Εικονικότητας	9
Σχήμα 2.4- 3: Συσκευή Μικτής Πραγματικότητας	10
Σχήμα 2.4- 4: Παράδειγμα χρήσης της Μικτής Πραγματικότητας.....	10
Σχήμα 3.2- 1: Γενιές της Επαυξημένης Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση	13
Σχήμα 4.3- 1: Διάγραμμα Ροής PRISMA	19
Σχήμα 5.1- 1: Τύποι Εγγράφων.....	24
Σχήμα 5.2.1- 1: Πλήθος δημοσιευμένων Ερευνών ανά Χρονιά.....	30
Σχήμα 5.2.1- 2: Πλήθος δημοσιευμένων Ερευνών ανά Χώρα.....	31
Σχήμα 5.2.2- 1: Οφέλη της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας	36
Σχήμα 5.2.4- 1: Μέθοδοι έρευνας	40
Σχήμα 5.2.4- 2: Ερευνητικά μέσα	41
Σχήμα 5.2.5- 1: Μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων.....	43
Σχήμα 5.2.6- 1: Μεγέθη δειγμάτων.....	46
Σχήμα 5.2.6- 2: Φύλο μαθητών.....	47
Σχήμα 5.2.6- 3 Βαθμίδες Εκπαίδευσης	47

Σχήμα 5.2.7- 1: Επίπεδα αναπαράστασης.....	51
Σχήμα 5.2.8- 1: Τύποι AR.....	54
Σχήμα 5.2.9- 1: Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν	57
Σχήμα 5.2.9- 2: Λειτουργικά Συστήματα συσκευών.....	57
Σχήμα 5.2.10- 1: Εργαλεία ανάπτυξης των εφαρμογών.....	60

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.3- 1: Συναρτήσεις Αναζήτησης.....	18
Πίνακας 5.1- 1: Τύποι και πηγές Εγγράφων	21
Πίνακας 5.1- 2: Στόχοι ερευνών.....	24
Πίνακας 5.2.1- 1: Χρονιές και Χώρες δημοσιευμένων Εγγράφων	28
Πίνακας 5.2.1- 2: Κατανομή πλήθους Ερευνών ανά Χώρα και Χρονιά.....	31
Πίνακας 5.2.2- 1: Οφέλη της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας.....	33
Πίνακας 5.2.3- 1: Προκλήσεις της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας.....	37
Πίνακας 5.2.4- 1: Μέθοδοι έρευνας και ερευνητικά εργαλεία.....	38
Πίνακας 5.2.5- 1: Μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων	42
Πίνακας 5.2.6- 1: Χαρακτηριστικά της συμμετοχής των μαθητών.....	44
Πίνακας 5.2.7- 1: Επίπεδα αναπαράστασης και θέματα	48
Πίνακας 5.2.8- 1: Τύποι AR.....	52
Πίνακας 5.2.9- 1 Συσκευές και Λειτουργικά Συστήματα	54
Πίνακας 5.2.10- 1: Εργαλεία ανάπτυξης και ονόματα εφαρμογών.....	58

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
XR	Extended Reality
VR	Virtual Reality
HMD	Head-Mounted Display
AR	Augmented Reality
MR	Mixed Reality
SDK	Software Development Kit
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
ΗΑΕ	Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Στις μέρες μας, η ψηφιακή τεχνολογία έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούμε σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας. Καθώς αυτή συνεχίζει να εξελίσσεται και με την επιρροή από γεγονότα όπως η πανδημία, αναζητούνται νέοι τρόποι έτσι ώστε να ενταχθεί αποτελεσματικά στην τάξη, ενισχύοντας τις διαδικασίες διδασκαλίας και εκμάθησης.

Η πρόοδος της υπολογιστικής ισχύος τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο της Εκτεταμένης Πραγματικότητας, κάνοντάς την πιο βιώσιμη ως μέσο εκμάθησης στην τάξη [47]. Οι τεχνολογίες που την αποτελούν μπορούν να δημιουργήσουν εμπειρίες που είναι συγκρίσιμες με πραγματικές εμπειρίες στον φυσικό κόσμο, προσφέροντας πολλές δυνατότητες για την υποστήριξη της εκπαίδευσης.

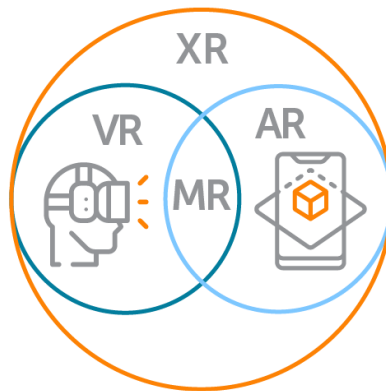
Μέχρι στιγμής, τα αποτελέσματα από τη χρήση των νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση είναι ενθαρρυντικά, με αυτές να είναι ολοένα και περισσότερο παρούσες στον ακαδημαϊκό κόσμο και στον τρόπο με τον οποίο εκπαιδευτικοί και μαθητές διαχειρίζονται τις διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης. Ένα παράδειγμα που αντιπροσωπεύει τον τρόπο με τον οποίο οι νέες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται από τα εκπαιδευτικά ιδρύματα είναι η ανάπτυξη εικονικών εργαστηρίων. Αυτά έχουν διάφορες λειτουργίες, όπως την προσομοίωση του περιβάλλοντος ενός εργαστηρίου όπου απαιτείται χρήση εξοπλισμού και υλικών που δεν είναι ευρέως διαθέσιμα, την αναδημιουργία φαινομένων που είναι δύσκολο να αναπαραχθούν κ.α. [48].

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στο κομμάτι της Εκτεταμένης Πραγματικότητας που ονομάζεται Επαυξημένη Πραγματικότητα, κάνοντας μια συστηματική ανασκόπηση της χρήσης της στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, προκειμένου να γίνει αντιληπτή η χρήση και η σημασία της. Στην επόμενη ενότητα, γίνεται επεξήγηση της Εκτεταμένης Πραγματικότητας και των μερών που την αποτελούν, ενώ επίσης παρατίθενται και πληροφορίες σχετικά με τη χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στην εκπαίδευση. Παράλληλα, παρατίθενται τα ερευνητικά ερωτήματα που θα εξετάσει η παρούσα Δ.Ε. και μετέπειτα περιγράφεται η μεθοδολογία, η διαδικασία και τα αποτελέσματα της έρευνας που υλοποιήθηκε. Τέλος, παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που εξήχθησαν με το πέρας της εργασίας.

Κεφάλαιο 2^ο : Εκτεταμένη Πραγματικότητα

2.1 Εισαγωγή

Ο όρος Εκτεταμένη Πραγματικότητα (Extended Reality, XR) επινοήθηκε πρόσφατα για να περικλείσει τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορούμε να αλληλεπιδράσουμε με εικονικά συστήματα [49]. Αποτελεί έναν όρο ομπρέλα που συγκεντρώνει τις διαφορετικές τεχνολογίες που θα περιγραφούν στη συνέχεια, δηλώνοντας την ικανότητά τους να υπερβαίνουν το φυσικό χώρο και να επεκτείνουν την πραγματικότητα [50]. Οι τεχνολογίες αυτές είναι η Εικονική, η Επαυξημένη και η Μικτή Πραγματικότητα (Σχήμα 2.1-1).



Σχήμα 2.1- 1: Σύσταση Εκτεταμένης Πραγματικότητας

Με την ανάπτυξη των νέων αυτών τεχνολογιών, καθώς και με τη μείωση του κόστους των συσκευών XR (Σχήμα 2.1-2), δημιουργούνται νέες ευκαιρίες και γίνεται ευκολότερη η ενσωμάτωσή τους σε διάφορους τομείς, με ενθαρρυντικά έως τώρα αποτελέσματα· έναν από αυτούς τους τομείς, φυσικά, αποτελεί η εκπαίδευση [51].



Σχήμα 2.1- 2: Συσκευές Εκτεταμένης Πραγματικότητας

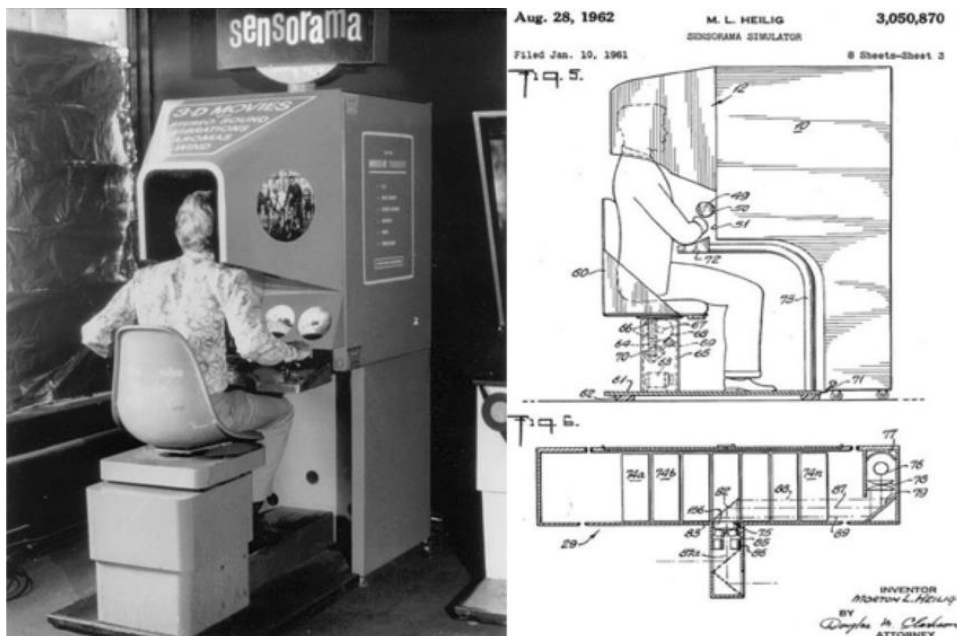
2.2 Εικονική Πραγματικότητα

Ο όρος Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality, VR) αναφέρεται σε ένα δημιουργημένο από υπολογιστή, πλήρως τεχνητό ψηφιακό περιβάλλον, στο οποίο ένας χρήστης εμβυθίζεται κι αλληλεπιδρά μέσω διαφόρων τύπων συσκευών εισόδου (Σχήμα 2.2-1). Ο παρατηρητής είναι ελεύθερος να μετακινηθεί στο χώρο με ρεαλισμό, ενώ σε περίπτωση που υπάρχουν πολλοί παρατηρητές, ο καθένας έχει ανεξάρτητη οπτική του εικονικού περιβάλλοντος.



Σχήμα 2.2- 1: Λειτουργία Εικονικής Πραγματικότητας

Οι τεχνολογίες VR ξεκίνησαν ήδη να αναπτύσσονται από τη δεκαετία του 1960. Το 1962 αναπτύχθηκε το σύστημα Sensorama (Σχήμα 2.2-2) που χρησιμοποιούσε τρισδιάστατα οπτικά, ακουστικά, απτικά και αρωματικά ερεθίσματα, ενώ γινόταν και χρήση αέρα για να βελτιωθεί η εμπειρία εμβύθισης [48].



Σχήμα 2.2- 2: Σύστημα "Sensorama"

Το 1968, κατασκευάστηκε το σύστημα οθόνης κεφαλής (Head Mounted Display, HMD) με ονομασία "The Sword of Damocles" (Σχήμα 2.2-3). Κατά τη χρήση του, ο χρήστης έπρεπε να έχει το κεφάλι του στερεωμένο στη συσκευή, ώστε να γίνεται παρακολούθηση της τοποθέτησής του, δίνοντας την ανάλογη οπτική εικόνα. Το HMD έπρεπε να συνδεθεί σε έναν μηχανικό βραχίονα αναρτημένο από την οροφή του εργαστηρίου, εν μέρει λόγω του βάρους του και κυρίως για να παρακολουθεί τις κινήσεις της κεφαλής μέσω συνδέσμων [52].



Σχήμα 2.2- 3: Σύστημα "The Sword of Damocles"

Σήμερα οι συσκευές VR έχουν γίνει πολύ πιο εργονομικές (Σχήμα 2.2-4), ενώ πολλοί ιδιωτικοί οργανισμοί τις κατασκευάζουν για παιχνίδια και άλλους σκοπούς. Ο πιο σημαντικός εξοπλισμός VR είναι η οθόνη κεφαλής, συνοδευμένη από ακουστικά και χειριστήριο/α. Για την παρακολούθηση των κινήσεων του κεφαλιού γίνεται χρήση επιταχυνσιόμετρων και γυροσκοπίων, ενώ γίνεται παρακολούθηση και των ματιών. Το HMD αποτελείται από δύο οθόνες και χρησιμοποιεί οπτικές τεχνικές για να δημιουργήσει το ψηφιακό περιβάλλον, περιβάλλοντας τον χρήστη με ρεαλιστικά οπτικά και ηχητικά εφέ.



Σχήμα 2.2- 4: Συσκευές Εικονικής Πραγματικότητας

Κεφάλαιο 2°

Ορισμένες συσκευές VR λειτουργούν ως αυτόνομα συστήματα· κάποιες πιο οικονομικές κάνουν χρήση συσκευών, όπως smartphone και tablet, χωρίς να απαιτείται εξωτερικό υλικό για την εμφάνιση του εικονικού περιβάλλοντος [48], ενώ σε πιο εξελιγμένα συστήματα, μπορούν να εγκατασταθούν στο χώρο ειδικές κάμερες κι αισθητήρες για την παρακολούθηση της κίνησης, καθώς και ηχεία [53].

Η αίσθηση ότι βρίσκεσαι σε ένα εξωπραγματικό περιβάλλον και η αλληλεπίδραση με ανύπαρκτα αντικείμενα στο περιβάλλον επιτυγχάνεται με την παροχή δεδομένων υψηλής ποιότητας. Όσο υψηλότερη είναι η ποιότητα αυτών των οπτικών και ακουστικών δεδομένων που δημιουργούνται, τόσο πιο έντονη είναι η αίσθηση της πραγματικότητας και η εμπύθιση σε αυτό το περιβάλλον (Σχήμα 2.2-5).

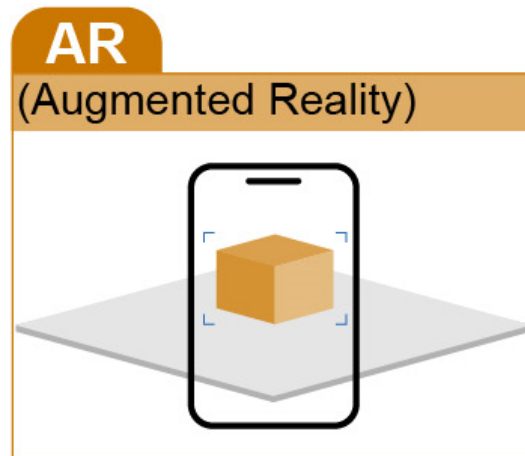


Σχήμα 2.2- 5: Παράδειγμα χρήσης της Εικονικής Πραγματικότητας

Το VR χρησιμοποιείται σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς. Παραδείγματος χάριν, στον τομέα της εκπαίδευσης, τα συστήματα προσομοίωσης πτήσης χρησιμοποιούνται ευρέως για την παροχή πτητικής εκπαίδευσης με χαμηλό κόστος σε πιλότους και υποψήφιους χειριστές, ενώ στην υγεία γίνεται χρήση τους για τη διδασκαλία επικίνδυνων χειρουργιών, την εκπαίδευση υποψηφίων νοσηλευτών καθώς και τη θεραπεία φοβιών, όπως ο φόβος για τα ύψη. Επίσης, ως εργαλείο παρατήρησης, ένας εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος μπορεί να γίνει εύκολα πλοηγήσιμος με την τεχνολογία εικονικής περιήγησης 360 μοιρών, καθιστώντας το προς εξέταση περιβάλλον πιο εύκολα αντιληπτό. Ως εργαλείο δοκιμής, με την ψηφιοποίηση του χώρου και των αγαθών με τεχνολογίες VR, η σύγχρονη τεχνολογία παραγωγής μπορεί να σχεδιάσει και να δοκιμάσει διάφορες διαδικασίες. Ακόμη, χρησιμοποιείται ευρέως για ψυχαγωγικούς σκοπούς, όπως παιχνίδια, αναπαράσταση περιοχών, μνημείων κ.α. [48].

2.3 Επαυξημένη Πραγματικότητα

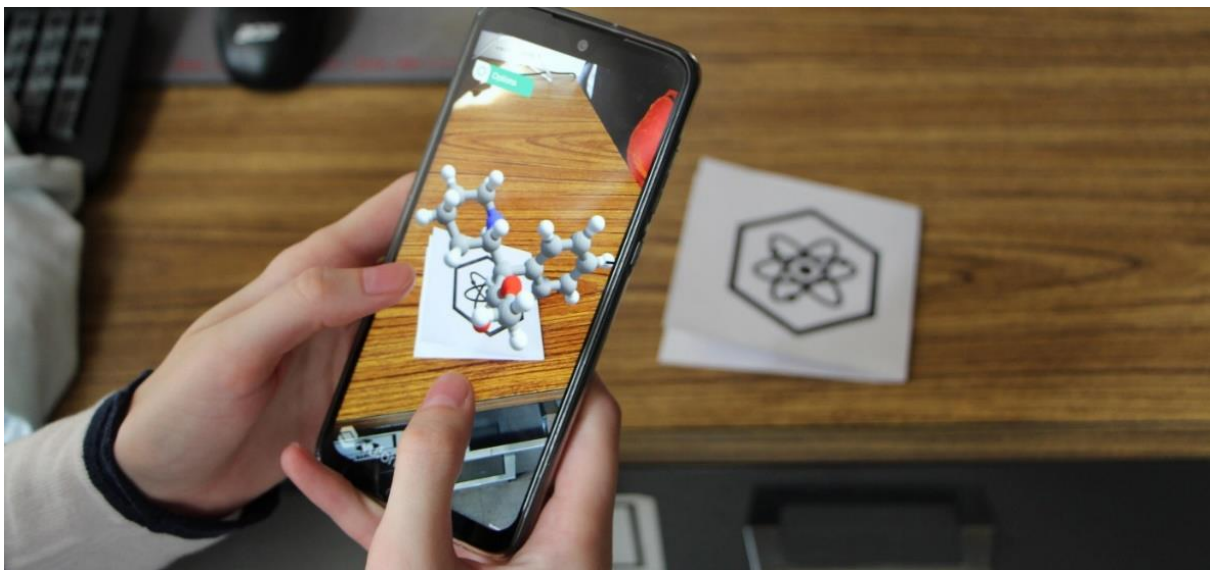
Ο όρος Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality, AR) αναφέρεται στην προσθήκη πληροφοριών ή εικονικών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο, επιτρέποντας σε αυτά να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο με τα πραγματικά αντικείμενα (Σχήμα 2.3-1) [54]. Σε αυτό το περιβάλλον σύνθεσης, προσφέρεται μια ρεαλιστική και διαισθητική αισθητηριακή εμπειρία, διαφορετική από το VR, στο οποίο ο χρήστης εμβυθίζεται σε ένα συνθετικό περιβάλλον χωρίς να μπορεί να δει τον πραγματικό κόσμο [55].



Η πραγματικότητα ενισχύεται
από εικονικά στοιχεία

Σχήμα 2.3- 1: Λειτουργία Επαυξημένης Πραγματικότητας

Για να ενεργοποιηθεί μια επαύξηση, απαιτείται κάμερα κι ένα έναυσμα. Οι κανόνες ενεργοποίησης περιλαμβάνουν εναύσματα με ή χωρίς δείκτη (π.χ. εναύσματα που βασίζονται σε εικόνα, θέση ή τοποθεσία). Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα AR που βασίζεται σε δείκτη (Σχήμα 2.3-2), μια τεχνητή εικόνα αποτελεί το μέσο για την ενεργοποίηση της επαύξησης [48].



Σχήμα 2.3- 2: Marker-based χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας

Κεφάλαιο 2°

Η τροφοδοσία της κάμερας επιτρέπει στο σύστημα AR να κατανοήσει τον φυσικό κόσμο, έτσι ώστε να μπορεί να προσθέσει το σωστό ψηφιακό περιεχόμενο στη σωστή θέση, ενημερώνοντάς το σε πραγματικό χρόνο καθώς αλλάζει η ροή της κάμερας. Όλα αυτά είναι δυνατά χάρη στη μηχανική όραση· ουσιαστικά, ένα υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης, που βοηθά τις μηχανές να “βλέπουν” τον κόσμο γύρω τους και να ανταποκρίνονται αναλόγως [53].

Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόσβαση στην Επαυξημένη Πραγματικότητα με ποικίλο κόστος, λειτουργικότητα και χρησιμότητα [48]. Ωστόσο δεν είναι αναγκαία η χρήση κάποιου ειδικού κιτ, όπως γυαλιά ή HMD. Σε πολλές περιπτώσεις ένα απλό smartphone ή tablet, είναι αρκετό (Σχήμα 2.3-3).



Σχήμα 2.3- 3: Συσκευές Επαυξημένης Πραγματικότητας

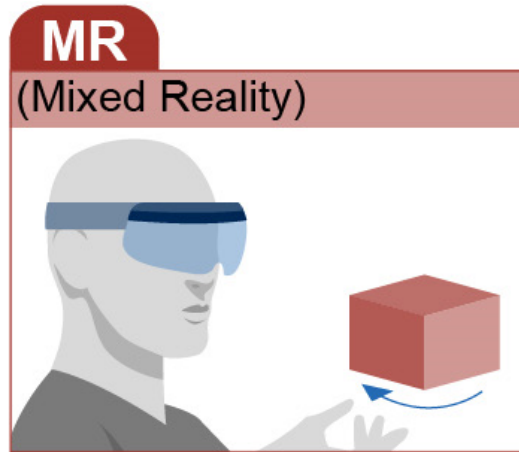
Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία τύπου AR έγινε αρκετά δημοφιλής με εφαρμογές όπως το Pokémon GO και τα φίλτρα στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, που επικαλύπτουν το πρόσωπο με ψηφιακό υλικό. Εφαρμογές εταιρειών πώλησης επίπλων (Σχήμα 2.3-4) επιτρέπουν να τοποθετηθούν ψηφιακά τα έπιπλα στο περιβάλλον, ώστε να ελέγξεις πώς φαίνονται στο χώρο πριν τα αγοράσεις, ενώ η εφαρμογή SkyMap της Google σε ενημερώνει για τους αστερισμούς καθώς στρέφεις την κάμερα στον ουρανό [53].



Σχήμα 2.3- 4: Εμπορική χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας

2.4 Μικτή Πραγματικότητα

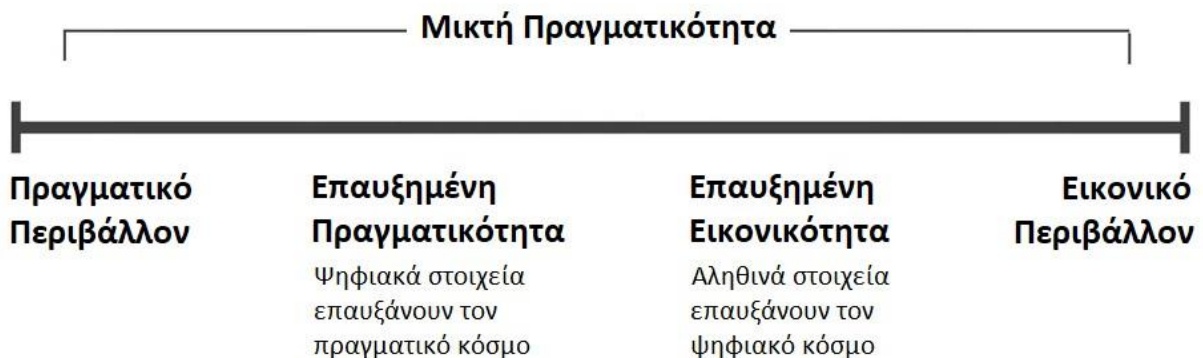
Η Μικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality, MR) συνδυάζει στοιχεία του ψηφιακού και του πραγματικού κόσμου σε πραγματικό χρόνο, ενώ επίσης επιτρέπει σε αυτά να αλληλεπιδρούν (Σχήμα 2.4-1). Αυτό δημιουργεί μια πιο καθηλωτική εμπειρία από το απλό AR, χωρίς να αποκλείεται πλήρως ο χρήστης από τον πραγματικό κόσμο, όπως συμβαίνει με το VR [53].



Αλληλεπίδραση τόσο με
πραγματικά όσο και με
εικονικά αντικείμενα

Σχήμα 2.4- 1: Λειτουργία Μικτής Πραγματικότητας

Οι Milgram και Kishino πρότειναν το φάσμα Πραγματικότητας-Εικονικότητας (Σχήμα 2.4-2), σύμφωνα με το οποίο η αριστερή και η δεξιά πλευρά αντιπροσωπεύουν το πραγματικό περιβάλλον και το εικονικό περιβάλλον, αντίστοιχα, ενώ η ενδιάμεση μεταβατική διαδικασία, συμπεριλαμβανομένης της επαυξημένης πραγματικότητας και της επαυξημένης εικονικότητας, αποτελεί τη Μικτή Πραγματικότητα, ένα μέσο μεταξύ του εικονικού και του πραγματικού κόσμου [56].



Σχήμα 2.4- 2: Φάσμα Πραγματικότητας-Εικονικότητας

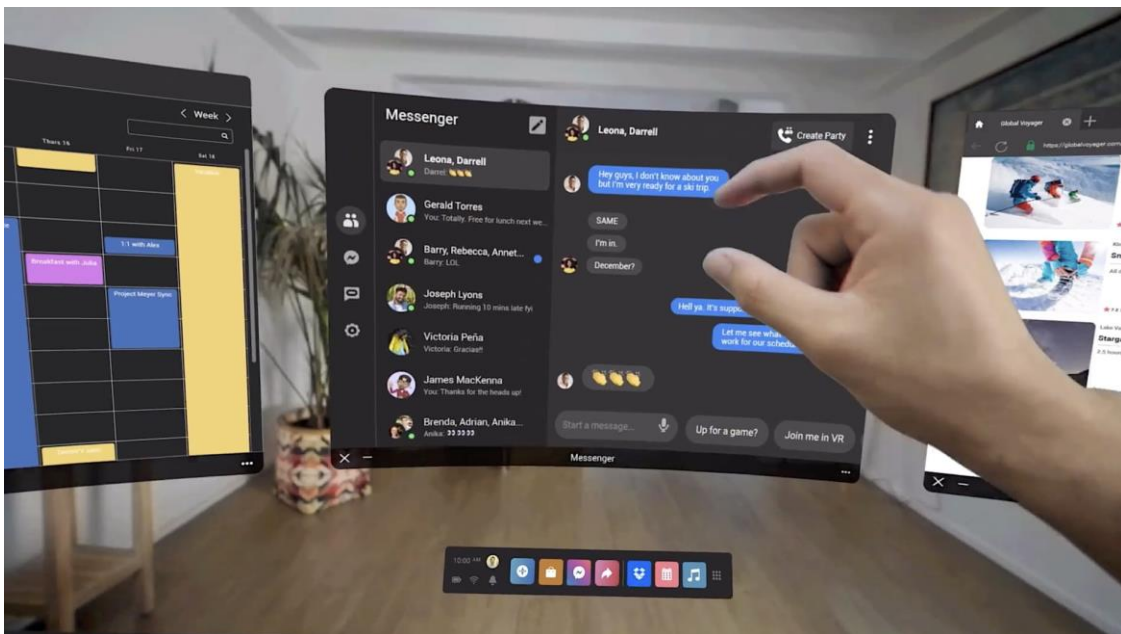
Κεφάλαιο 2°

Οι συσκευές MR απαιτούν περισσότερη επεξεργαστική ισχύ από αυτές του VR και του AR. Επίσης, κάποιες φορές γίνεται χρήση χειριστηρίων και τεχνολογίας παρακολούθησης κίνησης, όπως γάντια που παρακολουθούν τις κινήσεις των χεριών, ώστε να μπορεί να υπάρξει αλληλεπίδραση με τα ψηφιακά αντικείμενα (Σχήμα 2.4-3).



Σχήμα 2.4- 3: Συσκευή Μικτής Πραγματικότητας

Ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει τα ψηφιακά αντικείμενα με τα χέρια του, να τα περιστρέψει για να τα επιθεωρήσει από διαφορετικές γωνίες, να αλλάξει το μέγεθός τους κ.ο.κ. (Σχήμα 2.4-4).



Σχήμα 2.4- 4: Παράδειγμα χρήσης της Μικτής Πραγματικότητας

Η τεχνολογία MR είναι η λιγότερο ώριμη από τις τρεις τεχνολογίες XR. Ωστόσο, οι εταιρείες αρχίζουν ήδη να χρησιμοποιούν την MR για την επίλυση επιχειρηματικών προκλήσεων, την υποστήριξη νέων πρωτοβουλιών και τη βελτίωση των επιχειρηματικών τους διαδικασιών [53]. Παρά το γεγονός ότι το κόστος και η ισχύς επεξεργασίας υπερβαίνει αυτό που είναι προσβάσιμο στα περισσότερα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις θα επιτρέψουν μελλοντικές εξερευνήσεις των δυνατοτήτων της MR και στον τομέα της εκπαίδευσης [48].

2.5 Επίλογος

Οι τεχνολογίες XR έχουν τη δυνατότητα να προσελκύσουν το χρήστη με την εισαγωγή ψηφιακών στοιχείων πάνω από το φυσικό χώρο (AR), να τον καθλώσουν με την εισαγωγή του σε ένα πλήρως ψηφιακό περιβάλλον (VR) ή να κάνουν συνδυασμό αυτών των προσεγγίσεων κάπου ανάμεσα (MR). Η εξέλιξή τους είναι συνεχής, με σπουδαίες δυνατότητες και προοπτικές για το μέλλον.

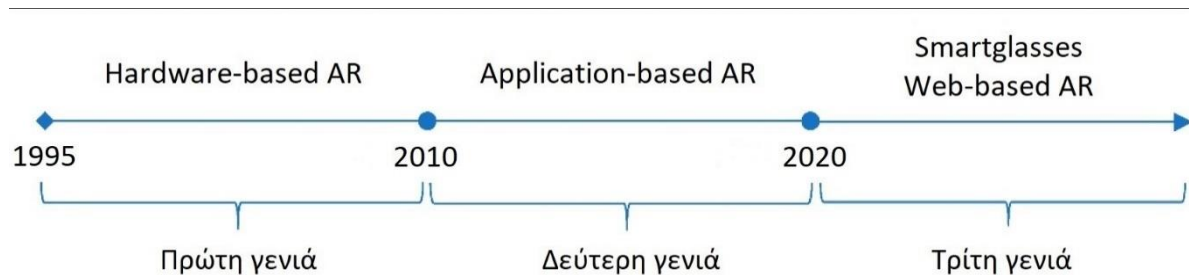
Κεφάλαιο 3^ο: Η Επαυξημένη Πραγματικότητα στην Εκπαίδευση

3.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με στοιχεία της επιστημονικής και ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας, το πρώτο σύστημα AR που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για εφαρμογή σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα ήταν ένα εργαλείο για τη διδασκαλία της τρισδιάστατης ανατομίας. Αυτό το εργαλείο AR υπέρθετε και κατέγραφε οστικές δομές σε πραγματικά ανατομικά αντίστοιχα ενός ανθρώπου, χρησιμοποιώντας οθόνη κεφαλής. Το σύστημα αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας και εισήχθη από τους δημιουργούς του στο πρώτο Διεθνές Συνέδριο για την “όραση” υπολογιστών, την εικονική πραγματικότητα και τη ρομποτική στην ιατρική, που πραγματοποιήθηκε στη Νίκαια της Γαλλίας το 1995 [57]. Έκτοτε, οι εφαρμογές AR έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διαφορετικά επίπεδα εκπαίδευσης, διαφορετικά πεδία εκπαίδευσης και διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, παρέχοντας πολλαπλά οφέλη για τους μαθητές [58].

3.2 Οι τρεις γενιές της AR στην Εκπαίδευση

Με βάση την ανάλυση της εξέλιξής της, η AR στην εκπαίδευση μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις γενιές (Σχήμα 3.2-1). Η πρώτη γενιά καλύπτει την περίοδο από το 1995 έως το 2009 και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως AR βασισμένη σε υλικό, καθώς η τεχνολογία παράδοσης ήταν ο πρωταγωνιστής της εμπειρίας AR. Η δεύτερη γενιά καλύπτει την περίοδο από το 2010 έως το 2019 και θα μπορούσε να περιγραφεί ως AR βασισμένη σε εφαρμογές, καθώς η εμπειρία AR επικεντρώθηκε σε εφαρμογές AR και όχι σε υλικό AR. Τέλος, η τρίτη γενιά τρέχει από το 2020 και φαίνεται να χαρακτηρίζεται από την ενίσχυση της δεύτερης γενιάς με τη χρήση αποκλειστικών συσκευών AR, όπως smartglasses και AR που βασίζεται στο Web.



Σχήμα 3.2- 1: Γενιές της Επαυξημένης Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση

3.2.1 Πρώτη γενιά

Αυτή η γενιά χαρακτηρίστηκε από ακριβά και πολύπλοκα συστήματα AR που βασίζονταν σε συσκευές όπως οθόνες κεφαλής, heads-up οθόνες και οθόνες χειρός. Όλα αυτά τα συστήματα προορίζονταν να διδάξουν θέματα σχετικά με την υγεία, τις φυσικές επιστήμες ή τη μηχανική και επικεντρώθηκαν σε φοιτητές προπτυχιακού επιπέδου ως ομάδες-στόχους. Η πρώτη γενιά χαρακτηριζόταν από δύο βασικούς περιορισμούς, συγκεκριμένα το υψηλό κόστος και τη χρηστικότητα. Το υψηλό κόστος σχετιζόταν με τις ακριβές συσκευές, την ανάγκη για εξειδικευμένη συντήρησή τους και την ανάγκη ειδικών δεξιοτήτων προγραμματισμού για την ανάπτυξη περιεχομένου [59]. Κατά συνέπεια, η απόκτηση εκπαιδευτικών εφαρμογών AR ήταν ανέφικτη για τα περισσότερα εκπαιδευτικά ιδρύματα, τα οποία δεν

κατέβαλαν την προσπάθεια να τις αντέξουν οικονομικά, λαμβάνοντας παράλληλα υπ' όψιν τα πολλαπλά διαθέσιμα εργαλεία εκπαιδευτικής τεχνολογίας που παρείχαν παρόμοια οφέλη. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ήταν η χρηστικότητα. Η χρηστικότητα αναφέρεται στην ποιότητα της εμπειρίας ενός χρήστη κατά την αλληλεπίδραση με την εφαρμογή και σχετίζεται με την ευκολία χρήσης της εφαρμογής [60]. Αυτές οι εφαρμογές ήταν πολύπλοκα συστήματα που προκαλούσαν υπερένταση στους χρήστες. Κατά συνέπεια, η γνωστική υπερφόρτωση για τον έλεγχο των εφαρμογών εμπόδιζε τις μαθησιακές διαδικασίες. Λόγω του υψηλού κόστους και της χαμηλής χρηστικότητας, οι εφαρμογές πρώτης γενιάς δεν ήταν δημοφιλείς σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, επηρεάζοντας αρνητικά τη διάδοσή τους [61].

3.2.2 Δεύτερη γενιά

Αυτή η γενιά ξεκίνησε με μια σημαντική αύξηση στον αριθμό των εφαρμογών AR σε κάθε τομέα εκπαίδευσης και κάθε επίπεδο εκπαίδευσης, εν μέρει, λόγω της επίλυσης των δύο βασικών περιορισμών της πρώτης. Καταρχάς, το γεγονός ότι οι εφαρμογές AR μπορούσαν να αναπτυχθούν σε κινητές συσκευές σήμαινε ότι περισσότεροι άνθρωποι μπορούσαν να έχουν πρόσβαση στο AR, εξαιλείοντας την ανάγκη αγοράς ακριβών συσκευών. Οι κινητές συσκευές έγιναν τεχνολογία καθημερινής χρήσης, που κατά κάποιο τρόπο αποτέλεσε εγγύηση της ευκολίας χρήσης των εφαρμογών AR. Επιπλέον, η εμφάνιση μηχανών παιχνιδιών, SDK (Software Development Kit) και βιβλιοθηκών για την ανάπτυξη εφαρμογών AR επέτρεψε την ανάπτυξη εφαρμογών AR με ευκολότερες μεθόδους, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα. Ακόμη, αυτή η γενιά επωφελήθηκε από την κυκλοφορία της δημόσιας έκδοσης του Google Glass το 2014 και του Pokémon Go το 2016, εφαρμογές που προκάλεσαν το ενδιαφέρον μεγάλου αριθμού προγραμματιστών και χρηστών της τεχνολογίας AR, τοποθετώντας την μεταξύ των πιο σχετικών εναλλακτικών στην εκπαιδευτική τεχνολογία [62].

3.2.3 Τρίτη γενιά

Αν και το AR έχει γίνει μια από τις πιο ενδιαφέρουσες τεχνολογίες στην ψηφιακή βιομηχανία, οι τάσεις φαίνεται να δείχνουν ότι δεν έχει αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές του. Η τρίτη γενιά (2020 και μετά) εξελίσσεται μέσα από δύο διαφορετικά σενάρια: smartglasses και AR που βασίζεται στο Web. Αυτά τα σενάρια εμπλουτίζονται από την τεχνητή νοημοσύνη, επιτρέποντας τη στροφή σε πιο ρεαλιστικές και ελκυστικές εμπειρίες και μια πιο ισχυρή προσαρμογή των εφαρμογών. Τα έξυπνα γυαλιά αποτελούν μέρος ενός κλάδου φορητών τεχνολογιών που έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν τη ζωή μας παρόμοια με τα smartphone. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά των έξυπνων γυαλιών φέρνουν πρόσθετα οφέλη στην ειδική εκπαίδευση. Τα έξυπνα γυαλιά περιλαμβάνουν ένα ευρύ σύνολο πλεονεκτημάτων σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, όπως ενεργοποίηση και έλεγχος με φωνητικές εντολές, μη επεμβατικές συσκευές οθόνης, μη ανάγκη για οθόνες αφής κ.α. Αυτά τα πλεονεκτήματα προσφέρουν σε χρήστες με διαφορετικές ανάγκες αυτονομία, κοινωνική ένταξη, κίνητρα, απόλαυση και υπόσχεση για ένα μέλλον χωρίς αποκλεισμούς. Από την πλευρά του, το AR που βασίζεται στο Web παρέχει διεισδυτικότητα στο AR καθώς δεν απαιτεί από τους χρήστες να κατεβάσουν ή να αποκτήσουν συγκεκριμένες εφαρμογές ή υλικό, γεγονός που το καθιστά τον λιγότερο απαιτητικό τρόπο εκτέλεσης AR. Κατά συνέπεια, είναι μια από τις πιο προσιτές και εύχρηστες πλατφόρμες για την εμπειρία AR, γεγονός που καθιστά το AR στον Ιστό έναν νέο κανόνα. Το AR που βασίζεται στο Web επιτρέπει στους προγραμματιστές να σχεδιάζουν και να υλοποιούν εφαρμογές AR με ευκολότερο και λιγότερο χρονοβόρο τρόπο από τις παραδοσιακές μεθόδους. Οι ενδιαφερόμενοι έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν εφαρμογές AR που βασίζονται στο Web χρησιμοποιώντας βοηθητικά εργαλεία συγγραφής, παρέχοντας σε περισσότερους μαθητές τα οφέλη που φέρνει η AR στην εκπαίδευση [63-65].

3.3 Επίλογος

Με βάση την εξέλιξη της τεχνολογίας AR, ορίζονται τρεις γενιές στην εκπαίδευση. Η πρώτη γενιά (1995–2009) μπορεί να οριστεί ως AR βασισμένη σε υλικό καθώς επικεντρώθηκε στην τεχνολογία παράδοσης. Η δημοτικότητα του AR στην εκπαίδευση ήταν περιορισμένη λόγω ορισμένων ζητημάτων που σχετίζονται με το υψηλό κόστος και τη χαμηλή χρηστικότητα. Κατά συνέπεια, οι εκπαιδευτικές εφαρμογές AR κάλυπταν μόνο ορισμένα θέματα που σχετίζονται με την Υγεία, τη Μηχανική και τις Φυσικές Επιστήμες και τα περισσότερα από αυτά προορίζονταν για προπτυχιακούς φοιτητές. Η δεύτερη γενιά (2010–2019) μπορεί να οριστεί ως AR βασισμένη σε εφαρμογές, καθώς επικεντρώθηκε σε εφαρμογές AR και όχι σε υλικό AR. Η ενσωμάτωση του AR σε κινητές συσκευές αύξησε σημαντικά τη δημοτικότητα του AR στην εκπαίδευση καθώς μείωσε το κόστος και αύξησε τη χρηστικότητα. Κατά συνέπεια, οι εφαρμογές AR έφτασαν σε κάθε τομέα εκπαίδευσης και κάθε επίπεδο εκπαίδευσης, τοποθετώντας το ως μια νέα τεχνολογία για την ενίσχυση της εκπαίδευσης. Η τρίτη γενιά (2020 και μετά) χαρακτηρίζεται από την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας, δίνοντας βάρος στα smartglasses, το Web-based AR και το AI, παρέχοντας σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μορφών τεχνολογίας και με την υπόσχεση μετατροπής του AR σε μια ώριμη τεχνολογία που θα συμπληρώνει κάθε εκπαιδευτικό πλαίσιο.

Κεφάλαιο 4^ο : Μεθοδολογία

4.1 Εισαγωγή

Ο στόχος αυτής της Δ.Ε. είναι να πραγματοποιήσει μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της χρήσης της Επαυξημένης Πραγματικότητας στο μάθημα της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, μέσω της εξέτασης των υπαρχουσών πληροφοριών και μελετών. Για την καθοδήγηση της έρευνας, θέτονται τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιες χρονιές και σε ποιες χώρες πραγματοποιήθηκαν οι έρευνες;
2. Ποια είναι τα οφέλη της ενσωμάτωσης της Επαυξημένης Πραγματικότητας στην διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση;
3. Ποιες είναι οι προκλήσεις της χρήσης της Επαυξημένης Πραγματικότητας στην διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση;
4. Ποιες ήταν οι μέθοδοι έρευνας και ποια τα ερευνητικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων;
5. Ποιες ήταν οι μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων στα πειράματα των ερευνών;
6. Ποια ήταν τα χαρακτηριστικά της συμμετοχής των μαθητών στα πειράματα των ερευνών;
7. Σε ποια επίπεδα αναπαράστασης της Χημείας εφαρμόστηκε η Επαυξημένη Πραγματικότητα;
8. Ποιοι τύποι Επαυξημένης Πραγματικότητας χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων;
9. Ποιες συσκευές χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων;
10. Ποια εργαλεία ανάπτυξης χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας των πειραμάτων;

4.2 Σχέδιο Έρευνας

Προκειμένου να απαντηθούν τα προαναφερθέντα ερευνητικά ερωτήματα και να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί, πραγματοποιήθηκε συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, ακολουθώντας το πρωτόκολλο PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [66]. Η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση με χρήση του πρωτοκόλλου PRISMA κρίθηκε ως κατάλληλη κι επιλέχθηκε, λόγω των εξαιρετικά αυστηρών κανόνων και προδιαγραφών, καθώς και του γεγονότος ότι είναι μια καθιερωμένη μέθοδος που εφαρμόζεται με επιτυχία σε διάφορα θέματα, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης, προσφέροντας ολοκληρωμένη πληροφόρηση [67-69].

Για να διεξαχθεί μια επιστημονικά αυστηρή μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν 5 βάσεις δεδομένων και ένας σχολαστικός συνδυασμός λέξεων-κλειδιών για τον προσδιορισμό των σχετικών εγγράφων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι βάσεις δεδομένων Scopus, Web of Science, IEEE, ERIC και Science Direct. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέσω των βάσεων δεδομένων SCOPUS και Web of Science ανακτήθηκε ο μεγαλύτερος αριθμός σχετικών εγγράφων και τα πιο ακριβή. Αυτό συνάδει με το γεγονός ότι θεωρούνται επιστημονικές βάσεις δεδομένων υψηλού αντικτύπου [70].

4.3 Διαδικασία Συστηματικής Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης

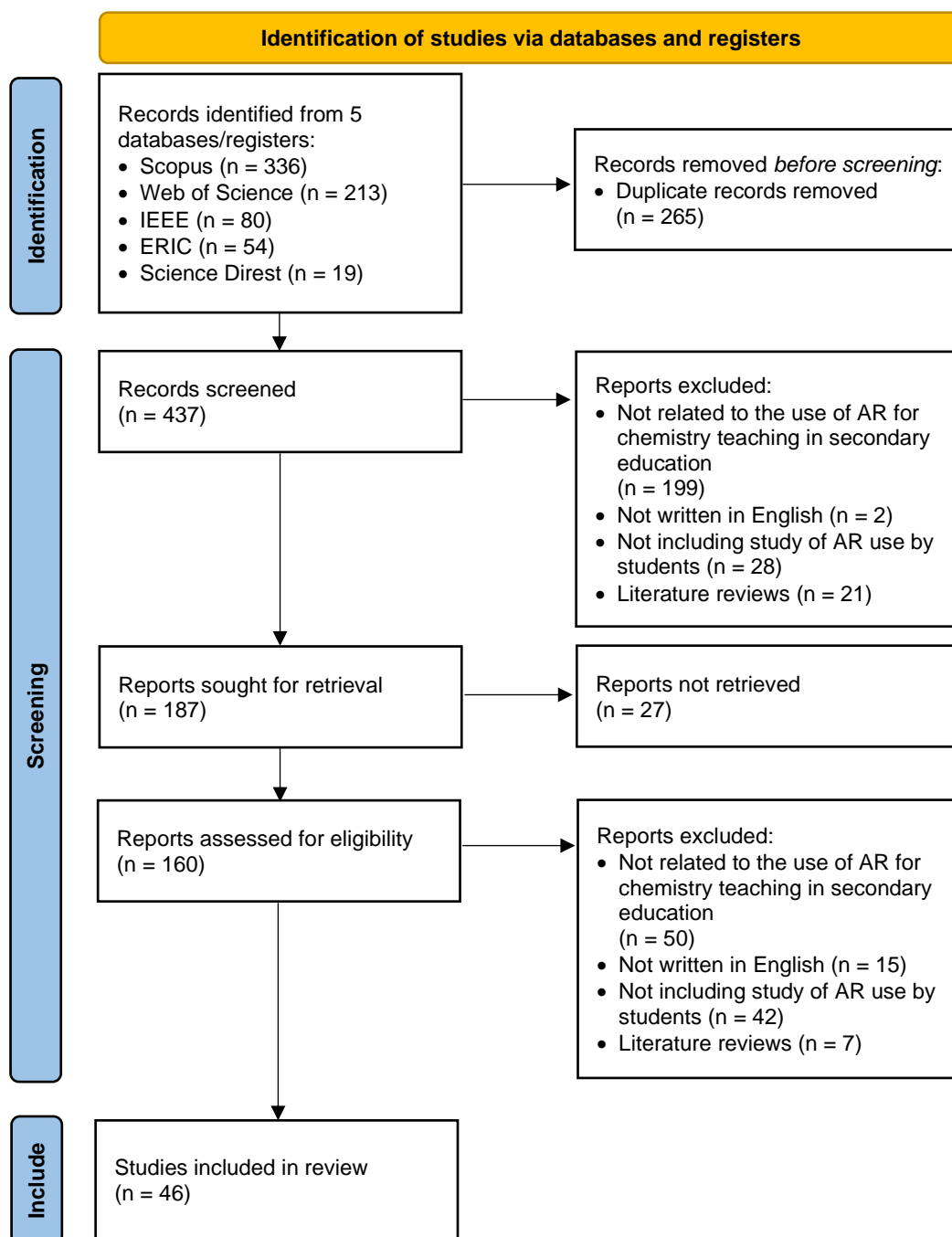
Τα δεδομένα ανακτήθηκαν το Δεκέμβριο του 2022. Με σκοπό την κάλυψη όλης της βιβλιογραφίας για το συγκεκριμένο θέμα όλα τα προηγούμενα χρόνια, δεν τέθηκε περιορισμός έτους. Για την εύρεση της σχετικής βιβλιογραφίας κι όλων των πιθανών συνδυασμών των αποτελεσμάτων στις βάσεις δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε μια συνάρτηση αναζήτησης που περιλάμβανε λογικούς και ειδικούς τελεστές: (("Augmented Reality") AND ("Education*" OR "teach*" OR "learn*") AND ("chemi*")). Αναλόγως με τις επιλογές που προσέφερε η κάθε βάση, έγινε αναζήτηση σύμφωνα με τον τίτλο, την περίληψη, τις λέξεις-κλειδιά κλπ. (Πίνακας 4.3-1).

Πίνακας 4.3- 1: Συναρτήσεις Αναζήτησης

Βάση Δεδομένων	Συνάρτηση Αναζήτησης
Scopus	TITLE-ABS-KEY (("Augmented Reality") AND ("Education*" OR "teach*" OR "learn*") AND ("chemi*"))
Web of Science	TS = (("Augmented Reality") AND ("Education*" OR "teach*" OR "learn*") AND ("chemi*")) OR TI = (("Augmented Reality") AND ("Education*" OR "teach*" OR "learn*") AND ("chemi*")) OR AB = (("Augmented Reality") AND ("Education*" OR "teach*" OR "learn*") AND ("chemi*")) OR AK = (("Augmented Reality") AND ("Education*" OR "teach*" OR "learn*") AND ("chemi*"))
IEEE	("All Metadata":"Augmented Reality") AND ("All Metadata":"Education*" OR "All Metadata":"teach*" OR "All Metadata":"learn*") AND ("All Metadata":"chemi*")
ERIC	"Augmented Reality" AND (Education OR Educational OR teach OR teaching OR learn OR learning) AND (chemistry OR chemical)
Science Direct	Title, abstract or author-specified keywords "Augmented Reality" AND (Education OR Educational OR teach OR teaching OR learn OR learning) AND (chemistry OR chemical)

Η όλη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε (Σχήμα 4.3-1), ακολούθησε και τήρησε όλα τα βήματα και τις κατευθυντήριες γραμμές του πρωτοκόλλου PRISMA. Αρχικά, συγκεντρώθηκαν 702 έγγραφα από τις 5 βάσεις δεδομένων (336 από το Scopus, 213 από το Web of Science, 80 από το IEEE, 54 από το ERIC και 19 από το Science Direct). Απ' αυτά τα έγγραφα, τα 265 ήταν διπλότυπα και δεν συμπεριλήφθηκαν. Συνεπώς, εξετάστηκαν 437 έγγραφα. Το κριτήριο συμπερίληψης ήταν η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διδασκαλία του μαθήματος της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, συμπεριλαμβάνοντας μελέτη χρήσης από μαθητές κι εξαγωγής σχετικών συμπερασμάτων. Βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις και έγγραφα που δεν ήταν γραμμένα στα Αγγλικά, απορρίφθηκαν. Συνολικά, 250 έγγραφα δεν πληρούσαν τα ερευνητικά κριτήρια και αποκλείστηκαν από τη μελέτη, ενώ ακόμη δε μπόρεσε να γίνει ανάκτηση 27 εγγράφων. Ως εκ τούτου, έγινε πλήρης ανάγνωση 160 εγγράφων. Από

αυτά, 114 έγγραφα αποκλείστηκαν καθώς δεν πληρούσαν τα απαραίτητα ερευνητικά κριτήρια. Κατά συνέπεια, συμπεριλήφθηκαν στη διπλωματική εργασία 46 έγγραφα.



Σχήμα 4.3- 1: Διάγραμμα Ροής PRISMA

4.4 Επίλογος

Τα βήματα του πρωτοκόλλου PRISMA ακολουθήθηκαν επακριβώς, προκειμένου να μην υπάρχουν αποκλίσεις και τα αποτελέσματα της έρευνας να είναι έγκυρα. Κατά τη διαδικασία της έρευνας, εξασφαλίστηκε η αυστηρή εξέταση των εγγράφων με βάση τη θεματική που δόθηκε προς ανάλυση. Τέλος η καταγραφή των ερευνητικών ερωτημάτων κατέχει σημαντικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνεται η βιβλιογραφική έρευνα και δομείται το περιεχόμενο της εργασίας.

Κεφάλαιο 5^ο : Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, από τα 437 έγγραφα που ελέγχθηκαν, 46 ήταν αυτά που πληρούσαν τα απαραίτητα ερευνητικά κριτήρια και συμπεριλήφθηκαν, τελικώς, στη διπλωματική εργασία. Σε αυτά περιλαμβάνονται τόσο έγγραφα που δημοσιεύθηκαν σε επιστημονικά περιοδικά (όπως το ‘Journal of Chemical Education’, το ‘International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology’, το ‘International Journal of Interactive Mobile Technologies’ κ.α.), όσο και έγγραφα που παρουσιάστηκαν σε διάφορα διεθνή συνέδρια (Πίνακας 5.1-1).

Πίνακας 5.1- 1: Τύποι και πηγές Εγγράφων

Αναφορά	Τύπος εγγράφων	Πηγή δημοσίευσης/παρουσίασης
[1]	Άρθρο	Computers in Human Behavior
[2]	Έγγραφο συνεδρίου	IEEE
[3]	Έγγραφο συνεδρίου	IEEE
[4]	Έγγραφο συνεδρίου	ICCE 2017 - 25th International Conference on Computers in Education: Technology and Innovation: Computer-Based Educational Systems for the 21st Century, Workshop Proceedings
[5]	Άρθρο	Applied Sciences-Basel
[6]	Έγγραφο συνεδρίου	IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON
[7]	Άρθρο	Multimedia Tools and Applications
[8]	Έγγραφο συνεδρίου	ACM International Conference Proceeding Series
[9]	Άρθρο	Education Sciences
[10]	Άρθρο	Systems
[11]	Έγγραφο συνεδρίου	Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education, ICCE 2017 - Main Conference Proceedings
[12]	Άρθρο	IEEE Transactions on Learning Technologies
[13]	Άρθρο	Sustainability (Switzerland)

[14]	Έγγραφο συνεδρίου	IEEE
[15]	Άρθρο	Biochemistry and Molecular Biology Education
[16]	Έγγραφο συνεδρίου	ACM International Conference Proceeding Series
[17]	Έγγραφο συνεδρίου	Proceedings - IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies: Advanced Technologies for Supporting Open Access to Formal and Informal Learning, ICALT 2015
[18]	Άρθρο	International Journal of Computer-Assisted Language Learning and Teaching
[19]	Έγγραφο συνεδρίου	3rd International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, ICORIS 2021
[20]	Άρθρο	International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology
[21]	Άρθρο	Israel Journal of Chemistry
[22]	Άρθρο	Journal of Chemical Education
[23]	Έγγραφο συνεδρίου	Future of Educational Innovation Workshop Series - Machine Learning-Driven Digital Technologies for Educational Innovation Workshop 2021
[24]	Έγγραφο συνεδρίου	Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)
[25]	Έγγραφο συνεδρίου	CSEDU 2013 - Proceedings of the 5th International Conference on Computer Supported Education
[26]	Άρθρο	Computers & Education
[27]	Άρθρο	International Journal of Interactive Mobile Technologies
[28]	Άρθρο	Information
[29]	Άρθρο	Pensamiento Educativo
[30]	Άρθρο	Studies in Informatics and Control
[31]	Έγγραφο συνεδρίου	Lecture Notes in Electrical Engineering

[32]	Έγγραφο συνεδρίου	Workshop Proceedings of the 23rd International Conference on Computers in Education, ICCE 2015
[33]	Έγγραφο συνεδρίου	Procedia Computer Science
[34]	Άρθρο	Journal of Chemical Education
[35]	Άρθρο	Chemistry Teacher International
[36]	Άρθρο	Journal of Chemical Education
[37]	Έγγραφο συνεδρίου	Workshop Proceedings of the 23rd International Conference on Computers in Education, ICCE 2015
[38]	Έγγραφο συνεδρίου	Smart Innovation, Systems and Technologies
[39]	Έγγραφο συνεδρίου	Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings
[40]	Έγγραφο συνεδρίου	International Conference on Mathematics and Science Education 2019 (ICMSCE 2019)
[41]	Έγγραφο συνεδρίου	Proceedings - 2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2017
[42]	Έγγραφο συνεδρίου	Journal of Physics: Conference Series
[43]	Άρθρο	Computers in Human Behavior
[44]	Έγγραφο συνεδρίου	Workshop Proceedings of the 23rd International Conference on Computers in Education, ICCE 2015
[45]	Έγγραφο συνεδρίου	Journal of Physics: Conference Series
[46]	Άρθρο	Educational Technology Research and Development

Από τα παραπάνω 46 έγγραφα, 24 (το 52%) είναι αυτά που δημοσιεύθηκαν σε επιστημονικά περιοδικά και 22 (το 48%) αυτά που παρουσιάστηκαν σε συνέδρια (Σχήμα 5.1-1).



Σχήμα 5.1- 1: Τύποι Εγγράφων

Τέλος, στον Πίνακα 5.1-2, γίνεται αναφορά και στους στόχους των ερευνητικών εγγράφων· στόχοι όπως η πρόταση, ανάπτυξη και παρουσίαση κάποιου εργαλείου Επαυξημένης Πραγματικότητας για τη διδασκαλία του μαθήματος της Χημείας, η εφαρμογή, μελέτη και σύγκριση της επίδρασης ενός τέτοιου εργαλείου σε αυτή, η διερεύνηση σχετικών υποθέσεων κ.α..

Πίνακας 5.1- 2: Στόχοι ερευνών

Αναφορά	Στόχος έρευνας
[1]	Ανάπτυξη ενός εργαλείου επαυξημένης πραγματικότητας βασισμένο στην έρευνα για μαθήματα χημείας γυμνασίου, εξέταση της επίδρασής του στη γνωστική απόδοση των μαθητών, σύγκριση της επίδρασής του σε μαθητές με υψηλές και χαμηλές επιδόσεις και διερεύνηση της στάσης των μαθητών προς το λογισμικό
[2]	Περιγραφή της μάθησης μέσω της επαυξημένης πραγματικότητας, ως βοήθημα στη διδασκαλία των αντιδράσεων οργανικών ενώσεων
[3]	Διερεύνηση για το εάν η διαδραστική βιωματική διδασκαλία με βάση το AR μπορεί να προωθήσει τη γνωστική ικανότητα των μαθητών γυμνασίου στο πεδίο των ηλεκτρολυτικών κυττάρων κι εάν οι μαθητές και οι δάσκαλοι είναι πρόθυμοι να εφαρμόσουν τέτοια εργαλεία μάθησης σε αυτό το πλαίσιο
[4]	Πρόταση μιας προσέγγισης παιχνιδιού, η οποία συνδυάζει το επιτραπέζιο παιχνίδι και την τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας για να υποστηρίξει την εκμάθηση της ιστορίας της χημείας
[5]	Ανάπτυξη ενός εικονικού πειράματος για το σχεδιασμό μιας κυψέλης Daniell και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

[6]	Να αποδείξει το πώς μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για κινητά μπορεί να εμπλουτίσει το μαθησιακό περιβάλλον και να προσελκύσει τους μαθητές να μάθουν και να εξερευνήσουν θέματα όπως οι επιστήμες· και πιο συγκεκριμένα η χημεία
[7]	Παρουσίαση ενός περιβάλλοντος πολυμέσων βασισμένο στην επαυξημένη πραγματικότητα για πειραματική εκπαίδευση
[8]	Εξερεύνηση των διαφορών στα μαθησιακά επιτεύγματα μεταξύ ενός πειράματος που βασίζεται σε VR και ενός πειράματος βασισμένου σε AR σε σύγκριση με το παραδοσιακό μάθημα πειράματος χημείας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς και σύγκριση της αποδοχής των μαθητών, του AR και του VR στο πείραμα αυτό
[9]	Ανάλυση της επίδοσης των μαθητών στο θέμα της μοριακής γεωμετρίας, με τη χρήση μιας τρισδιάστατης εικονικής αναπαράστασης
[10]	Ανάπτυξη ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας που θα βοηθήσει τους μαθητές γυμνασίου στην εκμάθηση της χημείας
[11]	Πρόταση συστήματος υποστήριξης εκμάθησης ανόργανης χημείας, χρησιμοποιώντας smartphone
[12]	Να εντοπίσει και να χαρακτηρίσει τον αντίκτυπο της εφαρμογής των τεχνολογιών AR/AIR στην εκπαίδευση και συγκεκριμένα, για να προσδιοριστεί εάν έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τις μαθησιακές επιδόσεις
[13]	Μελέτη των εκπαιδευτικών δυνατοτήτων που παρέχονται από την ενσωμάτωση της επαυξημένης πραγματικότητας στο πρόγραμμα σπουδών και την επίδρασή της στις ακαδημαϊκά επιτεύγματα σε μια ποικιλόμορφη τάξη· ειδικά στο μάθημα της χημείας
[14]	Βελτίωση της παραδοσιακής μεθοδολογίας διδασκαλίας με τη χρήση αναδυόμενων τεχνολογιών όπως η επαυξημένη πραγματικότητα κι οι πλατφόρμες Android
[15]	Πρόταση ενός εργαλείου AR για την εκτέλεση πειραμάτων χημείας με ασφάλεια
[16]	Εξακρίβωση της επίδρασης της χρήσης της επαυξημένης πραγματικότητας στις πεποιθήσεις των μαθητών γυμνασίου σχετικά με τη χημεία και την εκμάθησή της
[17]	Διερεύνηση των επιπτώσεων των τύπων επαυξημένης πραγματικότητας και της στρατηγικής καθοδήγησης στην απόδοση και διάθεση για μάθηση των μαθητών γυμνασίου πάνω στο θέμα της ηλεκτροχημείας
[18]	Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας χρήσης εκπαιδευτικού υλικού επαυξημένης πραγματικότητας για φορητές συσκευές, για μαθητές φυσικών επιστημών του 10ου έτους σε σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο Μπρουνέι Νταρουσαλάμ
[19]	Παρατήρηση της αποτελεσματικότητας εκμάθησης στην τάξη με την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας πάνω στο θέμα των χημικών διαλυμάτων ηλεκτρολυτών

[20]	Σχεδιασμός κι ανάπτυξη μιας εφαρμογής εκμάθησης που υποστηρίζει την εκπαίδευση STEM με βάση τη μάθηση καθοδηγούμενης ανακάλυψης, για να βοηθήσει τους μαθητές με ερωτήσεις που βασίζονται στην έκθεση σε διάφορα στοιχεία, μέσω επαυξημένης πραγματικότητας
[21]	Διερεύνηση των εφαρμογών των μέσων ως εργαλεία οπτικοποίησης, μάθησης κι έρευνας στην εκπαίδευση στη χημεία
[22]	Μελέτη των εκπαιδευτικών δυνατοτήτων συνδυασμού τεσσάρων στρατηγικών (πλαίσιο, διδασκαλία βάσει διερεύνησης, τοιχογραφίες και AR) στην εκμάθηση των χημικών στοιχείων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση
[23]	Σχεδιασμός μιας εφαρμογής που θα επέτρεπε στους μαθητές να κατανοήσουν την εσωτερική δομή της ύλης και να τους παρακινήσει να μάθουν χημεία
[24]	Αναφορά μιας διαμορφωτικής αξιολόγησης χρηστικότητας με επίκεντρο τον χρήστη, ενός σεναρίου εκμάθησης για τη χημεία, βασισμένο σε AR και με έμφαση στην κινητήρια αξία
[25]	Διερεύνηση της υπόθεσης ότι η κατανόηση των χωρικών δομών των μορίων ενισχύεται από τρισδιάστατες διεπαφές χρήστη που βασίζονται στην επαυξημένη πραγματικότητα
[26]	Αξιολόγηση της στάσης του εκπαιδευόμενου απέναντι στη βιωματική μάθηση σε AR περιβάλλοντα
[27]	Παρουσίαση του πλαισίου για την ανάπτυξη κινητής επαυξημένης πραγματικότητας για την εκμάθηση των χημικών δεσμών και τη διερεύνηση των επίδρασής της στις επιδόσεις των μαθητών
[28]	Αξιολόγηση της μαθησιακής αποτελεσματικότητας μιας βιωματικής δραστηριότητας επαυξημένης πραγματικότητας στην εξάσκηση των βασικών αρχών της χημείας, καθώς και την αξιολόγηση του επιπέδου εμπύθισης που πέτυχαν οι μαθητές γυμνασίου που συμμετείχαν
[29]	Μελέτη του πώς η ικανότητα οπτικοποίησης των μαθητών ενθαρρύνεται με τη μελέτη φαινομένων φωτός με τη συμπερίληψη τεχνολογίας
[30]	Αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο συγκεκριμένες δυνατότητες της Πλατφόρμας Διδασκαλίας Επαυξημένης Πραγματικότητας (ARTP) υποστηρίζουν την κατανόηση των εννοιών της χημείας καθώς και τη συμβολή τους στην αντιληπτή χρησιμότητα
[31]	Ανάπτυξη ενός εργαλείου διερευνητικής μάθησης που υποστηρίζεται από εφαρμογές AR και που θα χρησιμοποιηθεί σε μαθήματα χημείας στα γυμνάσια
[32]	Εξέταση της συσχέτισης μεταξύ του φύλου και της αντίληψης των μαθητών για το AR στο πλαίσιο των φαινομένων της χημείας κι η διερεύνηση, πιλοτικά, της αποτελεσματικότητας του AR στην αντίληψη των μαθητών, ανάλογα με το φύλο τους
[33]	Να αποδείξει το πόσο αποτελεσματικές είναι οι εφαρμογές AR, ακόμη και αν στη Ρουμανία βρίσκονται ακόμη σε μια πρωτοποριακή φάση

[34]	Παρουσίαση του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της προκαταρκτικής δοκιμής της εφαρμογής MAR Lab
[35]	Επίδειξη της σημασίας της οπτικοποίησης και των καινοτόμων τεχνολογιών, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα, η οποία έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει την εκμάθηση της στερεοχημείας και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων
[36]	Παρουσίαση του MoleculARweb, ενός δωρεάν ιστοτόπου ανοιχτού κώδικα με διαδραστικές εφαρμογές που βασίζονται σε ιστοσελίδες AR
[37]	Διερεύνηση της επίδρασης του AR στη μάθηση της χημείας, σχετικά με το φύλο και σχεδιασμός του πώς να χρησιμοποιηθεί το AR για την προώθηση της κριτικής σκέψης των μαθητών
[38]	Προσδιορισμός των υπαρχόντων παιδαγωγικών προτύπων που σχετίζονται με τη χημεία στερεάς κατάστασης που διδάσκονται σε λύκεια στην Ινδία και προσπάθεια σχεδιασμού μιας εφαρμογής βασισμένης σε συσκευές, που θα βοηθήσει τη μάθηση των μαθητών
[39]	Σύγκριση της μαθησιακής αποτελεσματικότητας και της αποδοχής από τον χρήστη της Επαυξημένης Χημείας (AC) έναντι του πιο παραδοσιακού ball-and-stick μοντέλου
[40]	Αξιολόγηση της βελτίωσης κατανόησης εννοιών από τους μαθητές, με τη δημιουργία μέσω επαυξημένης πραγματικότητας, στην εκμάθηση μέσω κοινών εργασιών με θέμα διαλύματα ηλεκτρολυτών και μη ηλεκτρολυτών
[41]	Ανάπτυξη ενός εκπαιδευτικού παιχνιδιού πειράματος χημείας(O2 LAB©), το οποίο ενσωματώνει AR και εικονικό εργαστήριο με βάση τη θεωρία αγκυρωμένης διδασκαλίας και διερεύνηση της μαθησιακής αποτελεσματικότητας, της ροής και της αποδοχής του παιχνιδιού από τους μαθητές
[42]	Μελέτη σχετικά με την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της επαυξημένης πραγματικότητας στο μάθημα της χημείας
[43]	Διερεύνηση της επίδρασης των μαθησιακών δραστηριοτήτων AR σε συνδυασμό με διαφορετικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένης της επίδειξης με επίκεντρο τον δάσκαλο και της πρακτικής με επίκεντρο τον μαθητή, στην εννοιολογική κατανόηση της χημείας και του ενδιαφέροντος για την επιστήμη
[44]	Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των κινήτρων των μαθητών προς τη χημεία και της αντίληψης για την επαυξημένη πραγματικότητα μετά την αλληλεπίδραση με την επαυξημένη πραγματικότητα στο θέμα της αντίδρασης οξέος-βάσης
[45]	Ανάπτυξη ενός βιβλίου σχεδιασμένο για τη μελέτη των υδατανθράκων σύμφωνα με το πρόγραμμα χημείας της 10ης τάξης στην Ουκρανία, με χρήση επαυξημένης πραγματικότητας και διερεύνηση της αποτελεσματικότητάς του κατά τη μελέτη της οργανικής χημείας
[46]	Να δοθεί απάντηση στη σύνθετη ερώτηση «ποιοι τύποι μαθητών είναι κατάλληλοι για την επαυξημένη πραγματικότητα»

5.2 Απαντήσεις Ερωτημάτων

Έπειτα από εκτενή μελέτη των 46 εγγράφων, απαντώνται αναλυτικά τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στο Κεφάλαιο 4.

5.2.1 Χρονιές και χώρες που πραγματοποιήθηκαν οι έρευνες

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συστηματικής ανασκόπησης, από το 2007 μέχρι και το 2022, χώρες από όλο τον κόσμο πραγματοποίησαν έρευνες σχετικά με τη χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (Πίνακας 5.2.1-1). ωστόσο μεγαλύτερη συμμετοχή είχαν οι χώρες της Ασίας, με την Ταϊβάν και την Κίνα να καταλαμβάνουν τις πρώτες θέσεις.

Πίνακας 5.2.1- 1: Χρονιές και Χώρες δημοσιευμένων Εγγράφων

Αναφορά	Χρονιά	Χώρα
[1]	2014	Κίνα
[2]	2022	Βραζιλία
[3]	2020	Κίνα
[4]	2017	Ταϊβάν
[5]	2021	Ταϊβάν
[6]	2016	ΗΑΕ
[7]	2021	Κίνα
[8]	2021	Κίνα
[9]	2021	Ινδονησία
[10]	2022	Ταϊβάν
[11]	2017	Ιαπωνία
[12]	2020	ΗΑΕ
[13]	2020	Χιλή
[14]	2017	Πακιστάν
[15]	2018	Αυστραλία
[16]	2019	Φιλιππίνες

[17]	2015	Ταϊβάν
[18]	2018	Μπρουνέι
[19]	2021	Ινδονησία
[20]	2018	Μαλαισία
[21]	2019	Σουηδία
[22]	2018	Ισπανία
[23]	2021	Μεξικό
[24]	2008	Ρουμανία
[25]	2013	Γερμανία
[26]	2013	Πολωνία
[27]	2019	Μαλαισία
[28]	2022	Μεξικό
[29]	2019	Κολομβία
[30]	2012	Ρουμανία
[31]	2018	Ταϊβάν
[32]	2015	Ταϊλάνδη
[33]	2020	Ρουμανία
[34]	2022	Βέλγιο
[35]	2019	Ταϊβάν
[36]	2021	N/A
[37]	2015	Ταϊλάνδη
[38]	2015	Ινδία
[39]	2007	N/A
[40]	2020	Ινδονησία
[41]	2017	Ταϊβάν

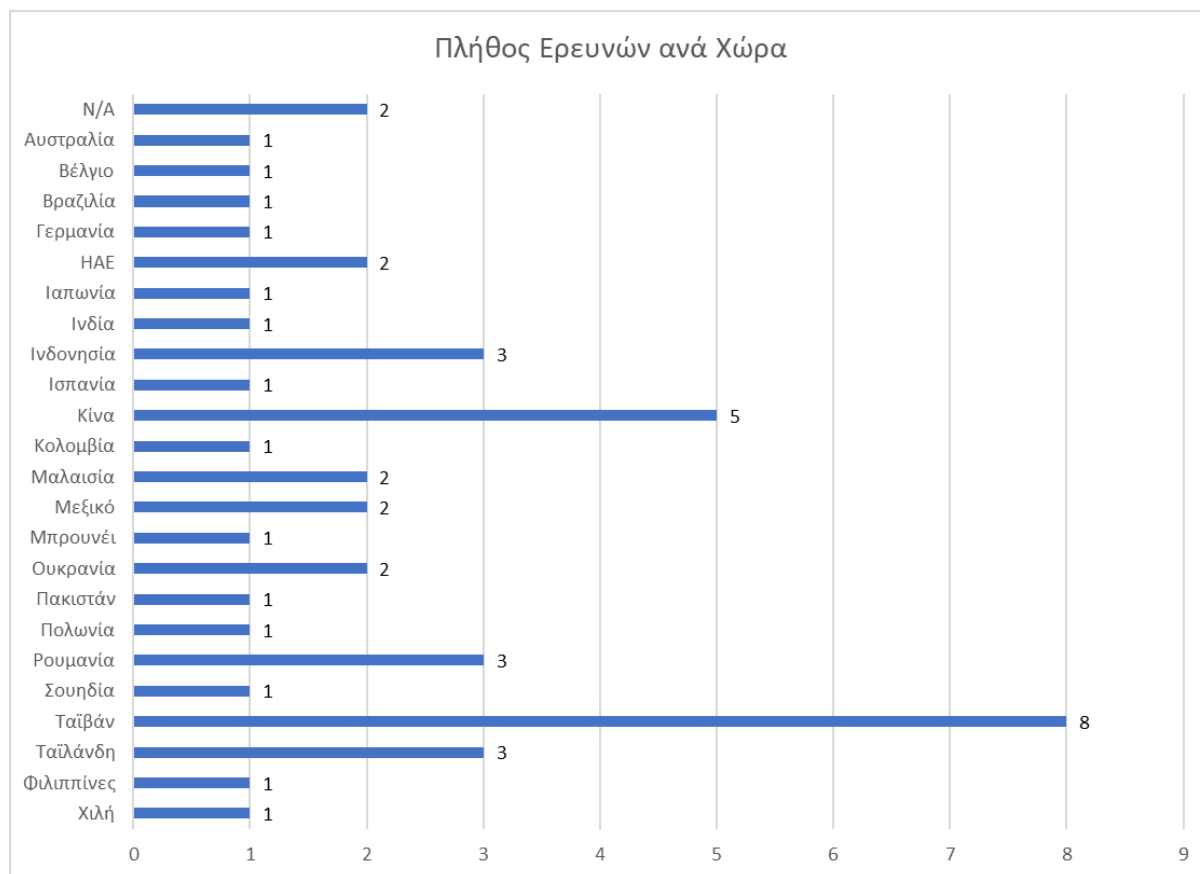
[42]	2022	Ουκρανία
[43]	2020	Ταϊβάν
[44]	2015	Ταϊλάνδη
[45]	2022	Ουκρανία
[46]	2021	Κίνα

Από τα 46 έγγραφα που συλλέχθηκαν για τη συστηματική ανασκόπηση, 1 (2.17%) δημοσιεύθηκε κάθε ένα από τα έτη 2007, 2008, 2012, 2014 και 2016, 2 (4.35%) το 2013, 4 (8.7%) το 2017, 5 (10.87) κάθε ένα από τα έτη 2015, 2018 και 2019, 6 (13.04%) κάθε ένα από τα έτη 2020 και 2022, ενώ, τέλος, 8 (17.4%) δημοσιεύθηκαν το 2021. Παρόλο που υπάρχουν κάποιες αυξομειώσεις ανάμεσα στα έτη, παρατηρείται γενικώς μια ανοδική πορεία στον αριθμό των ερευνών (Σχήμα 5.2.1-1).



Σχήμα 5.2.1- 1: Πλήθος δημοσιευμένων Ερευνών ανά Χρονιά

Επιπλέον, έπειτα από τη μελέτη τους, εξάχθηκε ότι οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε 23 χώρες, ενώ 2 έγγραφα δε διευκρίνιζαν τη χώρα. Πιο συγκεκριμένα, 1 (2.17%) πραγματοποιήθηκε σε κάθε μια από τις χώρες Αυστραλία, Βέλγιο, Βραζιλία, Γερμανία, Ιαπωνία, Ινδία, Ισπανία, Κολομβία, Μπρουνέι, Πακιστάν, Πολωνία, Σουηδία, Φιλιππίνες και Χιλή, 2 (4.35%) πραγματοποιήθηκαν σε κάθε μια από τις χώρες Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Μαλαισία, Μεξικό και Ουκρανία, 3 (6.52%) πραγματοποιήθηκαν σε κάθε μια από τις χώρες Ινδονησία, Ρουμανία και Ταϊλάνδη, 5 (10.87%) στην Κίνα και, τέλος, 8 (17.4%) στην Ταϊβάν (Σχήμα 5.2.1-2).



Σχήμα 5.2.1- 2: Πλήθος δημοσιευμένων Ερευνών ανά Χώρα

Επιπροσθέτως, στον Πίνακα 5.2.1-2 παρουσιάζεται συνδιαστικά, ανά χώρα και έτος, το πλήθος των ερευνών που δημοσιεύθηκαν και συλλέχθηκαν για την υλοποίηση της συστηματικής ανασκόπησης.

Πίνακας 5.2.1- 2: Κατανομή πλήθους Ερευνών ανά Χώρα και Χρονιά

	2007	2008	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Σύνολο
N/A	1											1		2
Αυστραλία									1					1
Βέλγιο													1	1
Βραζιλία													1	1
Γερμανία				1										1
ΗΑΕ							1				1			2
Ιαπωνία								1						1
Ινδία						1								1

Κεφάλαιο 5°

Ινδονησία											1	2		3
Ισπανία									1					1
Κίνα					1						1	3		5
Κολομβία										1				1
Μαλαισία									1	1				2
Μεξικό												1	1	2
Μπρουνέι									1					1
Ουκρανία													2	2
Πακιστάν								1						1
Πολωνία				1										1
Ρουμανία		1	1								1			3
Σουηδία										1				1
Ταϊβάν						1		2	1	1	1	1	1	8
Ταϊλάνδη						3								3
Φιλιππίνες										1				1
Χιλή											1			1
Σύνολο	1	1	1	2	1	5	1	4	5	5	6	8	6	46

5.2.2 Οφέλη του AR στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας που έχει διεξαχθεί μέχρι σήμερα δείχνει ότι οι μαθητές είναι ενθουσιασμένοι από την εμπειρία τους με το AR και ενδιαφέρονται να μάθουν χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνολογία. Το AR τους κάνει πιο ενεργούς κατά τη μαθησιακή διαδικασία λόγω της διαδραστικότητας των εφαρμογών του, τους ενθαρρύνει να σκέφτονται κριτικά και δημιουργικά, ενώ επίσης βελτιώνει τις εμπειρίες και τις επιδόσεις τους σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας.

Επιπλέον, αποτελεί ένα σπουδαίο εργαλείο για θέματα που απαιτούν από τους μαθητές την οπτικοποίηση δύσκολων ή/και αφηρημένων εννοιών που δεν μπορούν να παρατηρηθούν, όπως παραδείγματος χάριν συμβαίνει στο μάθημα της Χημείας.

Η τεχνολογία αυτή όχι μόνο βοηθά στη διατήρηση της γνώσης, αλλά δίνει επίσης στον μαθητή τη δυνατότητα να τη διατηρήσει για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα σε σύγκριση με άλλες παιδαγωγικές μεθοδολογίες, χάριν στον τρόπο αλληλεπίδρασης και οπτικοποίησης που τη χαρακτηρίζουν.

Ακόμη, η Επαυξημένη Πραγματικότητα δημιουργεί δυνατότητες για συνεργατική μάθηση γύρω από το εικονικό περιεχόμενο που μπορεί να διευκολύνει τη μάθηση, καθώς επιτρέπει στους μαθητές να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, αλλά και με το εκπαιδευτικό περιεχόμενο, ενώ δίνει και τη δυνατότητα μαθησιακής εμπειρίας παρόμοιας, αρκετές φορές, με αυτή της τάξης, επιτρέποντας στους μαθητές να μαθαίνουν με ευκολία κι εκτός των ωρών διδασκαλίας [71-72].

Παρακάτω, στον Πίνακα 5.2.2-1, παρουσιάζονται τα οφέλη της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, έπειτα από τη μελέτη των εγγράφων.

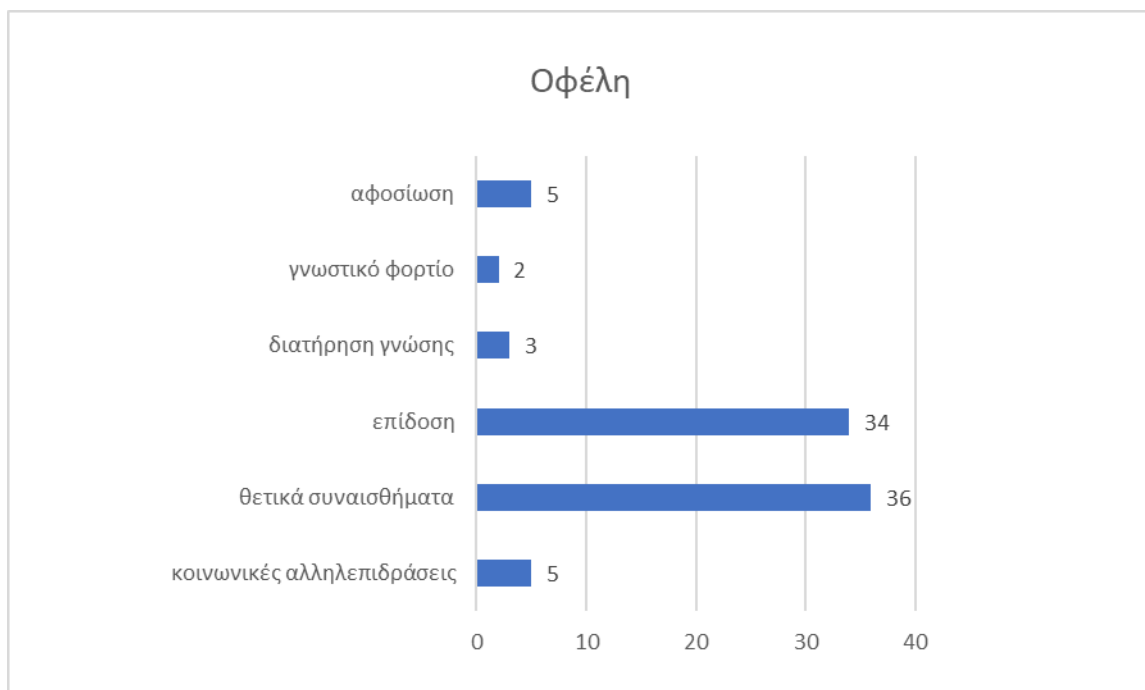
Πίνακας 5.2.2- 1: Οφέλη της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας

Αναφορά	Οφέλη
[1]	σημαντικά μαθησιακά κέρδη, ενθουσιασμός, περιέργεια και διάθεση για μάθηση
[2]	σημαντική βελτίωση στην επίδοση· διάθεση για μάθηση
[3]	βελτίωση της γνωστικής ικανότητας των μαθητών κι αυξημένο ενδιαφέρον
[4]	σημαντική βελτίωση της επίδοσης των μαθητών
[5]	σημαντική βελτίωση της επίδοσης των μαθητών κι υψηλή ικανοποίηση από τη μαθησιακή εμπειρία
[6]	καλύτερες επιδόσεις, έντονο ενδιαφέρον, αυξημένη αφοσίωση κι υψηλή ικανοποίηση από την εμπειρία
[7]	αυξημένο ενδιαφέρον και διάθεση για μάθηση
[8]	αυξημένη επίδοση και θετικά συναισθήματα(όπως ενθουσιασμός)

[9]	μείωση του γνωστικού φορτίου των μαθητών για την κατανόηση, ερμηνεία και μετάφραση χημικών αναπαραστάσεων σε υπομικροσκοπικό επίπεδο· αύξηση ενθουσιασμού για το μάθημα
[10]	καλύτερα αποτελέσματα από την παραδοσιακή μέθοδο διδασκαλίας, ειδικά για τους μαθητές με χαμηλές επιδόσεις· αύξηση διάθεσης για μάθηση, αφοσίωσης και αυτοπεποίθησης· μειωμένο γνωστικό φορτίο και βελτιωμένη αίσθηση επιτυχίας
[11]	αυξημένα μαθησιακά κέρδη
[12]	υψηλότερος ενθουσιασμός για εξερεύνηση και αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο σε σύγκριση με την παραδοσιακή μέθοδο· υψηλότερες βαθμολογίες, ειδικά για μαθητές με χαμηλή επίδοση
[13]	αύξηση επίδοσης, περιέργειας, αφοσίωσης, διάθεσης για μάθηση και κοινωνικών αλληλεπιδράσεων/επαναμεταφορά γνώσεων και διατήρηση γνώσης
[14]	αύξηση επίδοσης, ενδιαφέροντος και διάθεσης για μάθηση
[15]	αυξημένη αυτοπεποίθηση στον χειρισμό χημικών ουσιών κι αποτελεσματικότητα μάθησης
[16]	αύξηση επίδοσης, διάθεσης για μάθηση και διαδραστικής εμπλοκής των μαθητών
[17]	αύξηση επίδοσης και διάθεσης για μάθηση
[18]	αύξηση επίδοσης, ενδιαφέροντος, ζωντανίας κι αλληλεπίδρασης μεταξύ των μαθητών
[19]	αύξηση επίδοσης, ενδιαφέροντος κι ενθουσιασμού· υψηλή ικανοποίηση από την εμπειρία
[20]	αύξηση επίδοσης, ενδιαφέροντος και διάθεσης για μάθηση
[21]	αύξηση ενδιαφέροντος, διάθεσης για μάθηση, αφοσίωσης κι αλληλεπίδρασης μεταξύ των μαθητών
[22]	αύξηση επίδοσης, ενδιαφέροντος, διάθεσης για μάθηση κι αλληλεπίδρασης μεταξύ των μαθητών
[23]	αύξηση επίδοσης και διάθεσης για μάθηση
[24]	αύξηση επίδοσης και διάθεσης για μάθηση
[25]	σημαντική βελτίωση της χωρικής κατανόησης, αύξηση ενδιαφέροντος και διασκέδασης
[26]	αύξηση διάθεσης για μάθηση κι ικανοποίηση από την εμπειρία
[27]	αύξηση επίδοσης
[28]	αύξηση επίδοσης, ενδιαφέροντος, διάθεσης για μάθηση κι αφοσίωσης

[29]	βελτίωση της χωρικής κατανόησης
[30]	αυξημένη αποδοτικότητα κι αποτελεσματικότητα
[31]	αύξηση της μαθησιακής αποτελεσματικότητας, της διάθεσης για μάθηση και της ικανοποίησης από την εμπειρία
[32]	βελτίωση της χωρικής κατανόησης
[33]	αύξηση ενδιαφέροντος, αλληλεπίδρασης μαθητή-δασκάλου· μείωση άγχους
[34]	αύξηση ενδιαφέροντος
[35]	αύξηση ενδιαφέροντος κι ικανοποίησης από την εμπειρία
[36]	αύξηση μαθησιακών επιτευγμάτων κι ενδιαφέροντος
[37]	αυξημένη διάθεση για μάθηση
[38]	αύξηση ενδιαφέροντος κι ικανοποίησης από την εμπειρία
[39]	όμοια απόδοση με το μοντέλο ball-and-stick
[40]	αύξηση των μαθησιακών επιτευγμάτων, της περιέργειας και του ενθουσιασμού
[41]	αύξηση των μαθησιακών επιτευγμάτων
[42]	αύξηση της διάθεσης για μάθηση και του ενδιαφέροντος
[43]	αύξηση των μαθησιακών επιτευγμάτων, του ενδιαφέροντος και της διατήρησης της γνώσης
[44]	αύξηση διάθεσης για μάθηση κι ικανοποίηση από την εμπειρία
[45]	αύξηση των μαθησιακών επιτευγμάτων
[46]	αύξηση των μαθησιακών επιτευγμάτων και διατήρηση γνώσης

Από τα 46 έγγραφα που συλλέχθηκαν για τη συστηματική ανασκόπηση, 5 έγγραφα (10.87%) έκαναν αναφορά σε αυξημένη αφοσίωση στο μάθημα, 2 (4.35%) σε μείωση του γνωστικού φορτίου, 3 (6.52%) σε αυξημένη διατήρηση γνώσης, 34 (73.91%) σε αυξημένη επίδοση, 36 (78.26%) σε θετικά συναισθήματα (ενθουσιασμός, περιέργεια, ενδιαφέρον, ικανοποίηση, αυτοπεποίθηση, αίσθηση επιτυχίας, ζωντάνια, διασκέδαση, μείωση άγχους, κίνητρο) και 5 (10.87%) σε αυξημένες κοινωνικές αλληλεπιδράσεις/επαναμεταφορά γνώσεων (Σχήμα 5.2.2-1). Τέλος, να σημειωθεί ότι η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας βοήθησε ακόμη περισσότερο μαθητές που είχαν, προηγουμένως, αρκετά χαμηλές επιδόσεις.



Σχήμα 5.2.2- 1: Οφέλη της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας

5.2.3 Προκλήσεις της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας

Η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας προσφέρει, όπως είδαμε, πολλά οφέλη στις διδακτικές πρακτικές, όμως υπάρχουν αρκετές προκλήσεις, οι οποίες αναλύονται παρακατω.

Η διεπαφή στην οποία παρουσιάζονται τα δεδομένα και ο τρόπος με τον οποίο τα εργαλεία εκμάθησης αλληλεπιδρούν με τον χρήστη πρέπει να είναι λιτός, όσον αφορά το υλικό και τον σχεδιασμό, καθώς όσο πιο απλουστευμένες παρουσιάζονται οι πληροφορίες, τόσο πιο εύκολα γίνονται αυτές αντιληπτές [73]. Όντας μια νέα τεχνολογία που εμπλέκει πολλαπλές αισθήσεις, γίνεται μερικές φορές ένα περίπλοκο εργαλείο για όσους δεν έχουν τεχνολογικές ικανότητες [72]. Είναι σημαντικό να μη γίνεται υπερβολική χρήση εικονικών αντικειμένων και κινουμένων σχεδίων, καθώς θα μπορούσαν να προκαλέσουν απόσπαση της προσοχής ή/και σύγχυση [74].

Επιπλέον, η Επαυξημένη Πραγματικότητα θα πρέπει να δημιουργεί περιβάλλοντα που διεγείρουν το μαθητή, τον κάνουν να απολαμβάνει τη χρήση του συστήματος και υποστηρίζουν την ενεργητική μάθηση και την ύπαρξη προκλήσεων, ώστε ο μαθητής να εξασκεί τις ικανότητες του, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε μεγαλύτερη αφομοίωση των πληροφοριών. Ωστόσο, περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν ως μέσο μάθησης το παιχνίδι, εγείρουν την ανησυχία ότι οι μαθητές θα δώσουν παραπάνω σημασία στην εμβάθυνση που τους παρέχει το παιχνίδι, παρά στο περιεχόμενο μάθησης. Συνεπώς, η διεπαφή της Επαυξημένης Πραγματικότητας θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει στοιχεία παιχνιδοποίησης, τα οποία προσελκύουν τους μαθητές λόγω της τεχνολογίας, εξασφαλίζοντας την ισορροπία μεταξύ παιχνιδοποίησης και γνώσης [72],[75].

Επιπροσθέτως, τα περιβάλλοντα AR θα πρέπει να παρέχουν, όσο είναι εφικτό, μια αξιόπιστη αναπαράσταση της πραγματικότητας για να επιτρέψουν στους μαθητές να αποκτήσουν γνώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στον πραγματικό κόσμο. Τα ρεαλιστικά περιβάλλοντα μάθησης που προσφέρει η τεχνολογία AR διευκολύνουν σημαντικά τη μεταφορά στον πραγματικό κόσμο των

ικανοτήτων που αποκτώνται, σε σύγκριση με τη μάθηση έξω από το πραγματικό πλαίσιο. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην αναπαράσταση δυνητικά επικίνδυνων δραστηριοτήτων. Η ευκολία στην εξερεύνηση των συνεπειών τέτοιων ενεργειών και η αίσθηση ασφάλειας που προσφέρουν τα περιβάλλοντα AR δεν μπορούν να ενισχύσουν την απαιτηλή πεποίθηση των μαθητών ότι η εκτέλεση των ίδιων ενεργειών στον πραγματικό κόσμο δεν θα είχε επίσης επικίνδυνες συνέπειες. Επομένως, τα περιβάλλοντα μάθησης AR θα πρέπει να περιλαμβάνουν την κατάλληλη καθοδήγηση για τις λειτουργίες που εκτελούνται από τους μαθητές και οι ιδιαίτερα επικίνδυνες δραστηριότητες θα πρέπει πάντα να συνοδεύονται από τις σχετικές προειδοποιήσεις σχετικά με την ασφάλεια ή ακόμη και να απαγορεύονται [26].

Μια άλλη πρόκληση αποτελούν οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει αντίσταση στην εφαρμογή της Επαυξημένης Πραγματικότητας σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα ή να υπάρχουν δυσκολίες στην εφαρμογή της, λόγω έλλειψης τεχνικής κατάρτισης ορισμένων εκπαιδευτικών στη διαχείριση των συστημάτων AR [72].

Τέλος, στις εφαρμογές Επαυξημένης Πραγματικότητας πρέπει να αποφεύγονται, όσο το δυνατόν γίνεται, προβλήματα χρηστικότητας, καθώς εάν μια εφαρμογή AR δεν λειτουργεί σωστά (π.χ. η αναγνώριση δείκτη) ή εάν είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί, θα προκαλείται δυσφορία και σύγχυση στους μαθητές, μειώνοντας την αποδοτικότητα της τεχνολογίας ως μέσο διδασκαλίας [74].

Από τις 46 έρευνες που μελετήθηκαν, 9 (19.57%) έκαναν αναφορά σε κάποιο τεχνικό θέμα (όπως θέματα στην ανάγνωση/παρακολούθηση των δεικτών, ατέλειες στην αναπαράσταση των εικονικών αντικειμένων κ.α.), ενώ 2 (4.35%) έκαναν αναφορά στην προσαρμογή των εκπαιδευτικών και την ανάγκη κατάλληλης προετοιμασίας, ώστε να μπορέσουν να εισάγουν αποδοτικά τη χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη διαδικασία της διδασκαλίας (Πίνακας 5.2.3-1).

Πίνακας 5.2.3- 1: Προκλήσεις της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας

Αναφορά	Πρόκληση
[1]	τεχνικό θέμα
[3]	τεχνικό θέμα
[5]	τεχνικό θέμα
[6]	τεχνικό θέμα
[15]	τεχνικό θέμα
[20]	προσαρμογή εκπαιδευτικών
[24]	τεχνικό θέμα
[33]	τεχνικό θέμα
[34]	τεχνικό θέμα
[35]	προσαρμογή εκπαιδευτικών
[39]	τεχνικό θέμα

5.2.4 Μέθοδοι έρευνας και ερευνητικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι έρευνας: quantitative, qualitative και mixed (ποσοτική, ποιοτική και μικτή αντίστοιχα). Η quantitative μέθοδος βασίζεται σε στατιστικές διαδικασίες για την ανάλυση δεδομένων, η qualitative στην περιγραφική αφήγηση, ενώ η mixed αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω [76].

Με την quantitative μέθοδο συλλέγονται μετρήσιμα δεδομένα, έτσι ώστε να μπορούν σε αυτά να εφαρμοστούν στατιστικές διαδικασίες. Ένα σημαντικό πλεονέκτημά της είναι ότι τα αποτελέσματα είναι συνήθως γενικεύσιμα σε μεγαλύτερους πληθυσμούς [77].

Η qualitative μέθοδος χρησιμοποιείται για την ανάλυση και την αξιολόγηση μη αριθμητικών πληροφοριών. Τα δεδομένα της περιλαμβάνουν λέξεις, απόψεις, σκέψεις, συναισθήματα και συμπεριφορές, ενώ εφαρμόζεται σε μελέτες που περιλαμβάνουν σχέσεις μεταξύ ατόμων, ατόμων και του περιβάλλοντός τους και κίνητρα που οδηγούν την ατομική συμπεριφορά και δράση [76].

Η mixed μέθοδος εστιάζει στη συλλογή, ανάλυση και ανάμειξη τόσο ποσοτικών όσο και ποιοτικών δεδομένων σε μια ενιαία μελέτη ή σειρά μελετών. Η κεντρική υπόθεση είναι ότι η χρήση, συνδυαστικά, ποσοτικών και ποιοτικών προσεγγίσεων, παρέχει καλύτερη κατανόηση των ερευνητικών προβλημάτων από οποιαδήποτε προσέγγιση μόνη της, προσφέροντας, επιπλέον, υψηλότερη εγκυρότητα και αξιοπιστία [78-79].

Όπως βλέπουμε στον Πίνακα 5.2.4-1, στις έρευνες που μελετήθηκαν για τη συστηματική ανασκόπηση συναντήθηκαν και οι τρεις μέθοδοι.

Πίνακας 5.2.4- 1: Μέθοδοι έρευνας και ερευνητικά εργαλεία

Αναφορά	Μέθοδος έρευνας	Ερευνητικά εργαλεία
[1]	Mixed	pre-post test(fill in the blanks, 32 blanks), questionnaire survey(Likert scale, 6-point, 30 items), Interview(5)
[2]	Mixed	interviews(open and closed questions), questionnaires(closed and open), a semi-open questionnaire(teacher)
[3]	Mixed	pre-post test(multiple-choice, 9 items), interviews, questionnaire surveys
[4]	Quantitative	pre-post test(25 matching questions & fill in the blanks-19 blanks), questionnaire(flow scale for game, Likert scale, 5-point, 23 items), questionnaire (technology acceptance scale, Likert scale, 5-point, 11 items)
[5]	Mixed	pre-post test(multiple-choice & two-tier diagnostic questions, 25 items), questionnaire survey(Likert scale, 5-point)
[6]	Quantitative	assessment quiz(multiple choice), questionnaire survey
[7]	Quantitative	2 questionnaire surveys(1 for students, 1 for teachers, Likert scale, 5-point)
[8]	Quantitative	pre-post test(27 items), questionnaire survey(technology acceptance, Likert scale, 5-point)

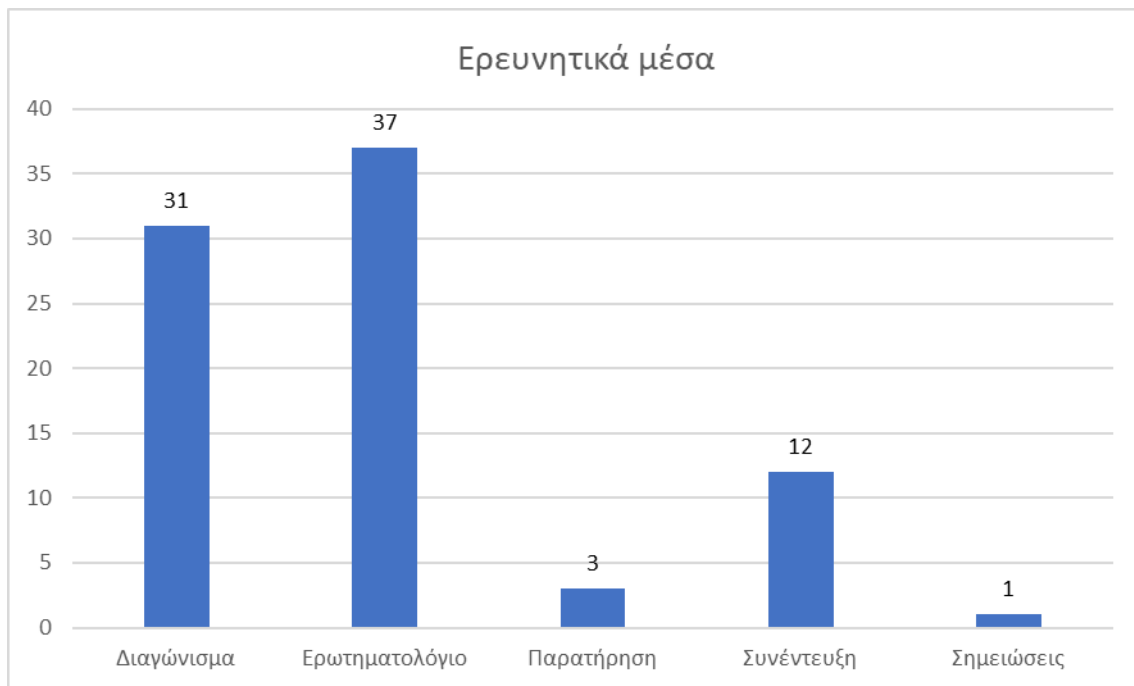
[9]	Qualitative	a spatial ability assessment, a quiz to assess prior knowledge, student worksheets, interviews, observation sheets, reflective journals, and a molecular geometry test(multiple-choice, 15 items)
[10]	Quantitative	pre-post test(multiple-choice, 10 items), questionnaire survey(learning motivation,cognitive load, technology acceptance, Likert scale, 5-point)
[11]	Quantitative	questionnaire survey
[12]	Quantitative	assessment quiz(multiple choices), questionnaire survey
[13]	Quantitative	pre-post test, +1 test(1 month later)
[14]	Mixed	pre-post test, interview
[15]	Quantitative	questionnaire survey(7 items), test
[16]	Qualitative	questionnaire survey
[17]	Quantitative	pre-post test(25 items), questionnaire survey(motivation, 30 items)
[18]	Mixed	pre-post test, questionnaire survey(open ended)
[19]	Mixed	questionnaire survey, test, interview, observation
[20]	Quantitative	pre-post test
[21]	Quantitative	pre-post questionnaire survey, interview(teachers)
[22]	Mixed	pre-post test
[23]	Quantitative	pre-post test(multiple-choice, 10 items), pre-post questionnaire survey(Likert scale, 4-point)
[24]	Mixed	questionnaire(usability, Likert scale, 5-point), 3 tests
[25]	Mixed	pre-post test, questionnaire, interview
[26]	Quantitative	questionnaire(technology acceptance model, Likert scale, 5-point)
[27]	Quantitative	pre-post test
[28]	Quantitative	pre-post test, questionnaire(Likert-scale, 5-point)
[29]	Quantitative	pre-post test
[30]	Quantitative	questionnaire(usability, Likert scale, 5-point), 3 tests
[31]	Quantitative	pre-post test, questionnaire(five-point Likert)
[32]	Quantitative	pre-post questionnaire
[33]	Mixed	questionnaire
[34]	Mixed	pre-post test(multiple-choice, 11 items), questionnaire, interview

[35]	Qualitative	interview, questionnaire
[36]	Quantitative	questionnaire survey
[37]	Quantitative	pre-post test questionnaire(21 items)
[38]	Qualitative	interview, observation
[39]	Quantitative	questionnaire
[40]	Mixed	pre-post questionnaire, observation
[41]	Quantitative	pre-post test, questionnaire(Likert scale, 5-point)
[42]	Quantitative	questionnaire(open-ended questions)
[43]	Mixed	pre-post test, +1 delayed post test, interview
[44]	Quantitative	pre-test questionnaire(scientific motivation, 25-item, Likert scale, 5-point) , post-test questionnaire(technology perception, 18-item,Likert scale, 5-point)
[45]	Quantitative	2 quizzes
[46]	Quantitative	pre-post test, delayed test, remedy test, questionnaire(technology acceptance, Likert scale, 7-point)

Από τη μελέτη των ερευνών παρατηρήθηκε ότι σε 28 (61%) έγινε χρήση της quantitative μεθόδου, σε 4 (9%) της qualitative και σε 14 (30%) της mixed (Σχήμα 5.2.4-1)· ενώ όσον αφορά τα ερευνητικά μέσα, σε 31 (67.4%) έγινε χρήση διαγωνισμάτων, σε 37 (80.43%) χρήση ερωτηματολογίων, σε 3 (6.52%) έγινε παρατήρηση των μαθητών κατά την εφαρμογή της AR, σε 12 (26.1%) έγιναν συνεντεύξεις και σε 1 (2.17%) κρατήθηκαν σημειώσεις των μαθητών (Σχήμα 5.2.4-2).



Σχήμα 5.2.4- 1: Μέθοδοι έρευνας



Σχήμα 5.2.4- 2: Ερευνητικά μέσα

5.2.5 Μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων στα πειράματα των ερευνών

Σε ένα πείραμα, τα δεδομένα από μία πειραματική ομάδα συγκρίνονται με δεδομένα από μία ομάδα ελέγχου. Αυτές οι δύο ομάδες θα πρέπει να είναι πανομοιότυπες από κάθε άποψη εκτός από μία, την ανεξάρτητη μεταβλητή· στην περίπτωσή μας η χρήση ή μη του AR στη διδασκαλία της Χημείας.

Η πειραματική ομάδα είναι ένα δείγμα δοκιμής. Αυτή η ομάδα εκτίθεται σε αλλαγές στην ανεξάρτητη μεταβλητή που ελέγχεται, ενώ στη συνέχεια καταγράφονται οι τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής και η επίδραση στην εξαρτημένη μεταβλητή· στην περίπτωσή μας η επίδραση της χρήσης του AR στη διδασκαλία της Χημείας. Ένα πείραμα μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλές πειραματικές ομάδες ταυτόχρονα, οι οποίες μπορούν να συγκριθούν με μία ομάδα ελέγχου ή στοιχεία που συλλέχθηκαν νωρίτερα από τα ίδια άτομα (πχ. δεδομένα από τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας και στη συνέχεια από τη χρήση του AR).

Μία ομάδα ελέγχου είναι μια ομάδα που χωρίζεται από το υπόλοιπο πείραμα έτσι ώστε η ανεξάρτητη μεταβλητή που εξετάζεται να μην μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα. Αυτό απομονώνει τα αποτελέσματα της ανεξάρτητης μεταβλητής στο πείραμα και μπορεί να βοηθήσει στον αποκλεισμό εναλλακτικών εξηγήσεων των πειραματικών αποτελεσμάτων. Δεν περιλαμβάνουν όλα τα πειράματα ομάδα ελέγχου, αλλά αυτά που περιλαμβάνουν ονομάζονται "ελεγχόμενα πειράματα".

Ο σκοπός του ελέγχου είναι να αποκλειστούν άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα ενός πειράματος, ενώ είναι χρήσιμος κι όπου οι πειραματικές συνθήκες είναι πολύπλοκες και δύσκολο να απομονωθούν. Ωστόσο, ενώ όλα τα πειράματα έχουν μια πειραματική ομάδα, δεν απαιτούν όλα μια ομάδα ελέγχου [80-81].

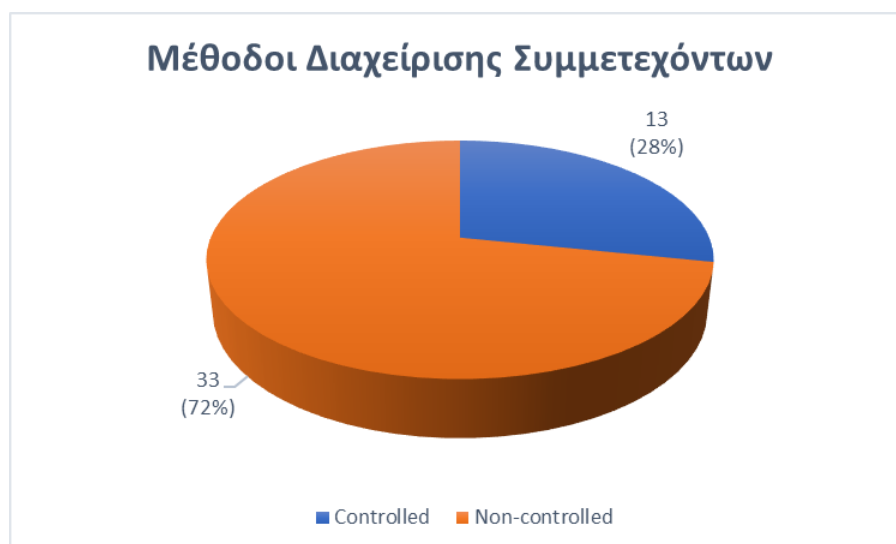
Στον Πίνακα 5.2.5-1, βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο έγινε η διαχείριση των συμμετεχόντων στα πειράματα των ερευνών.

Πίνακας 5.2.5- 1: Μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων

Αναφορά	Μέθοδος διαχείρισης συμμετεχόντων
[1]	Non-controlled
[2]	Non-controlled
[3]	Controlled
[4]	Non-controlled
[5]	Controlled
[6]	Controlled
[7]	Non-controlled
[8]	Controlled
[9]	Non-controlled
[10]	Controlled
[11]	Controlled
[12]	Controlled
[13]	Non-controlled
[14]	Controlled
[15]	Non-controlled
[16]	Non-controlled
[17]	Non-controlled
[18]	Controlled
[19]	Controlled
[20]	Non-controlled
[21]	Non-controlled
[22]	Non-controlled
[23]	Non-controlled
[24]	Non-controlled
[25]	Controlled
[26]	Non-controlled
[27]	Non-controlled
[28]	Non-controlled
[29]	Non-controlled
[30]	Non-controlled

[31]	Controlled
[32]	Non-controlled
[33]	Non-controlled
[34]	Non-controlled
[35]	Non-controlled
[36]	Non-controlled
[37]	Non-controlled
[38]	Non-controlled
[39]	Non-controlled
[40]	Non-controlled
[41]	Non-controlled
[42]	Non-controlled
[43]	Non-controlled
[44]	Non-controlled
[45]	Non-controlled
[46]	Controlled

Από τις 46 έρευνες που μελετήθηκαν, στις 13 (28%) υπήρχε ομάδα ελέγχου, ενώ στις υπόλοιπες 33 (72%) υπήρχε μόνο πειραματική ή πολλαπλές πειραματικές ομάδες (Σχήμα 5.2.5-1).



Σχήμα 5.2.5- 1: Μέθοδοι διαχείρισης των συμμετεχόντων

5.2.6 Χαρακτηριστικά της συμμετοχής των μαθητών στα πειράματα των ερευνών

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.2.6-1, στις 46 έρευνες που μελετήθηκαν συναντήθηκε μεγάλη ποικιλία μεγέθους δείγματος, με τη συμμετοχή τόσο αγοριών όσο και κοριτσιών διαφόρων τάξεων του γυμνασίου και λυκείου. Επιπλέον, σημειώνεται ότι σε μία έρευνα υπήρχε συμμετοχή μαθητών με ειδικές ανάγκες [13] και σε άλλες δύο υπήρχε συμμετοχή και εκπαιδευτικών [7],[38].

Πίνακας 5.2.6- 1: Χαρακτηριστικά της συμμετοχής των μαθητών

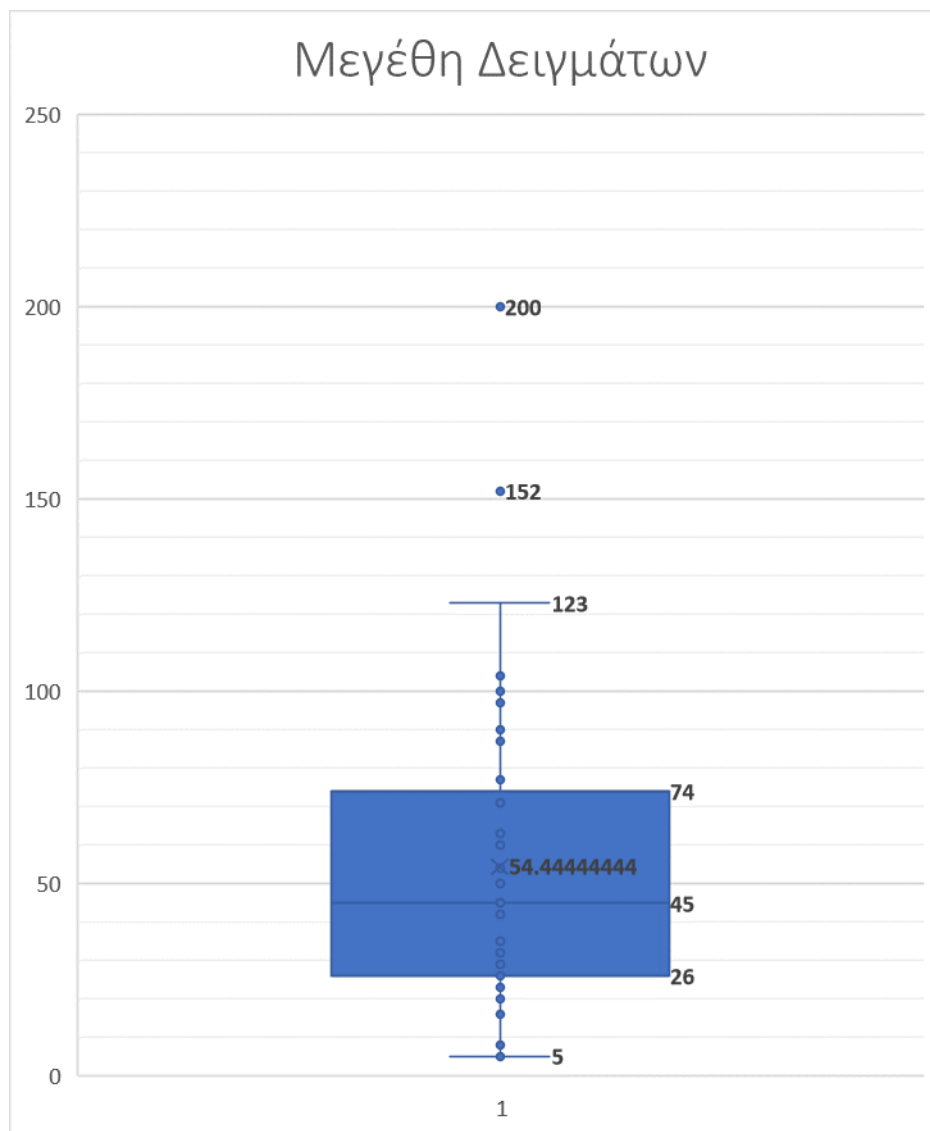
Αναφορά	Μέγεθος δείγματος	Αγόρια	Κορίτσια	Εκπαιδευτική βαθμίδα	Τάξη
[1]	29	16	13	Γυμνάσιο	2η
[2]	54	N/A	N/A	Δευτεροβάθμια	N/A
[3]	60	N/A	N/A	Λύκειο	N/A
[4]	35	28	7	Λύκειο	N/A
[5]	50	N/A	N/A	Γυμνάσιο	3η
[6]	44	0	44	Λύκειο	2η
[7]	30	N/A	N/A	Γυμνάσιο	N/A
[8]	30	16	14	Γυμνάσιο	3η
[9]	36	13	23	Λύκειο	1η
[10]	100	51	49	Γυμνάσιο	2η
[11]	8	N/A	N/A	Δευτεροβάθμια	N/A
[12]	45	0	45	Λύκειο	2η
[13]	60	0	60	Λύκειο	3η
[14]	56	N/A	N/A	Δευτεροβάθμια	N/A
[15]	10	N/A	N/A	Λύκειο	2η & 3η
[16]	5	0	5	Γυμνάσιο	N/A
[17]	152	N/A	N/A	Λύκειο	1η
[18]	44	N/A	N/A	Λύκειο	1η
[19]	63	N/A	N/A	Λύκειο	1η

[20]	25	6	19	Λύκειο	N/A
[21]	18	N/A	N/A	Λύκειο	2η
[22]	26	N/A	N/A	Γυμνάσιο	3η
[23]	87	N/A	N/A	Γυμνάσιο	N/A
[24]	20	10	10	Γυμνάσιο & Λύκειο	N/A
[25]	23	N/A	N/A	Γυμνάσιο	2η
[26]	42	N/A	N/A	Γυμνάσιο	2η
[27]	16	N/A	N/A	Δευτεροβάθμια	N/A
[28]	123	58	65	Γυμνάσιο	N/A
[29]	92	N/A	N/A	Λύκειο	1η
[30]	71	35	36	Δευτεροβάθμια	N/A
[31]	55	N/A	N/A	Γυμνάσιο	1η
[32]	90	30	60	Λύκειο	1η & 2η
[33]	200	81	119	Γυμνάσιο & Λύκειο	N/A
[34]	9	N/A	N/A	Δευτεροβάθμια & Πανεπιστήμιο	N/A
[35]	N/A	N/A	N/A	Λύκειο	N/A
[36]	34	N/A	N/A	Δευτεροβάθμια	N/A
[37]	90	30	60	Λύκειο	2η
[38]	5	N/A	N/A	Λύκειο	3η
[39]	26	21	5	Λύκειο	N/A
[40]	32	N/A	N/A	Λύκειο	1η
[41]	52	42	10	Λύκειο	N/A
[42]	65	N/A	N/A	Λύκειο	1η
[43]	104	N/A	N/A	Γυμνάσιο	3η

Κεφάλαιο 5°

[44]	77	N/A	N/A	Λύκειο	N/A
[45]	60	N/A	N/A	Λύκειο	1η
[46]	97	52	45	Λύκειο	1η

Τα μεγέθη των δειγμάτων ξεκινούν από 5 και φτάνουν τους 200 μαθητές, ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών είχαν δείγματα μεγέθους 26 με 74 μαθητές, με μία έρευνα να μην κάνει αναφορά στον αριθμό των μαθητών που συμμετείχαν (Σχήμα 5.2.6-1).



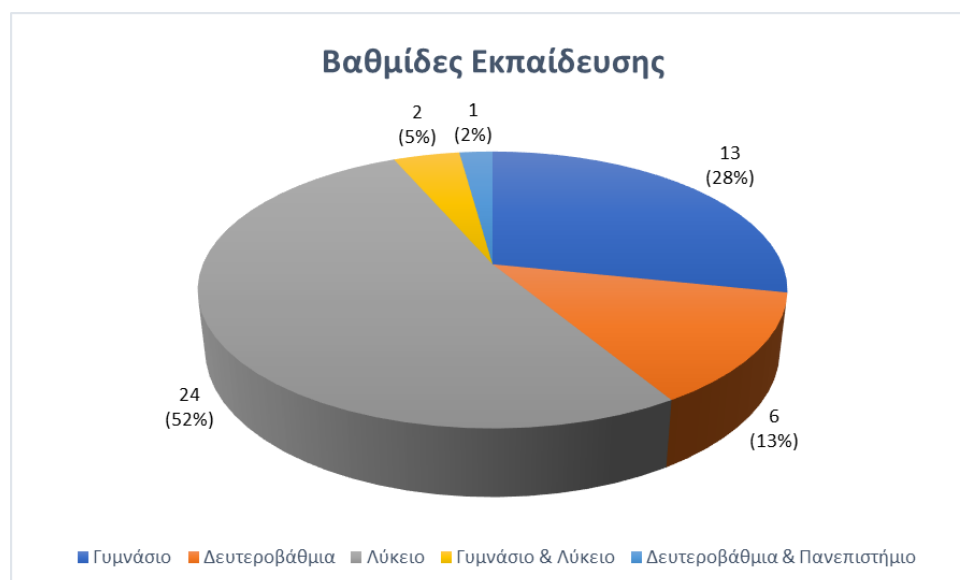
Σχήμα 5.2.6- 1: Μεγέθη δειγμάτων

Όσον αφορά τα ποσοστά συμμετοχής αγοριών-κοριτσιών στο σύνολο των ερευνών, παρατηρούμε ότι το 20% (489 μαθητές) ήταν αγόρια και το 28% (689 μαθητές) κορίτσια, με το 52% (1272 μαθητές) να μην είναι διευκρινισμένο (Σχήμα 5.2.6- 2).



Σχήμα 5.2.6- 2: Φύλο μαθητών

Από τα 46 δείγματα μαθητών, 24 (52%) ήταν μαθητές Λυκείου, 13 (28%) μαθητές Γυμνασίου, 2 (5%) ήταν μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου μαζί, ενώ 6 (13%) αναφέρονταν ως μαθητές Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και 1 (2%) ως μαθητές Δευτεροβάθμιας και Πανεπιστημίου μαζί (Σχήμα 5.2.6-3).



Σχήμα 5.2.6- 3 Βαθμίδες Εκπαίδευσης

Η ανάλυση των δεδομένων δείχνει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον αντίκτυπο του AR στη διδασκαλία της Χημείας μεταξύ των τάξεων του Γυμνασίου και του Λυκείου, με αποδοχή της τεχνολογίας και θετικά αποτελέσματα ανεξαρτήτως φύλου.

5.2.7 Επίπεδα αναπαράστασης της Χημείας όπου εφαρμόστηκε η AR

Τα επίπεδα αναπαράστασης στη Χημεία είναι τρία: (1) το μακροσκοπικό, το οποίο αφορά τα παρατηρήσιμα χημικά φαινόμενα, όπως πυκνότητα, οσμή, χρώμα κλπ. (2) το υπομικροσκοπικό, το οποίο αφορά τις εικονικές όψεις με άτομα, μόρια, ιόντα, τις αλληλεπιδράσεις, τις δυναμικές κινήσεις τους κλπ. και (3) το συμβολικό, το οποίο περιγράφει αντιδραστικά γεγονότα μέσω τύπων, εξισώσεων, μαθηματικού χειρισμού και γραφημάτων [5],[10].

Η μακροσκοπική και η υπομικροσκοπική αναπαράσταση είναι δύο σημαντικές πτυχές για την παρατήρηση των αλλαγών στις ουσίες. Για να κατανοηθούν τα αίτια των χημικών αντιδράσεων, πρέπει να υπάρχει κατανόηση του πώς αλλάζουν οι μικροδομές των αντιδρώντων και των προϊόντων, επειδή υπάρχει μια επιστημονική και λογική συλλογιστική μεταξύ τους (π.χ. δραστηριότητα, χημικοί δεσμοί και μεταφορά ηλεκτρονίων). Οι αλλαγές στο υπομικροσκοπικό επίπεδο σχετίζονται στενά με τις αντίστοιχες αλλαγές στο μακροσκοπικό, όπως οι ιδιότητες του υλικού και η χημική ενέργεια. Οι μαθητές πρέπει να φανταστούν την υπομικροσκοπική όψη του αόρατου τρισδιάστατου κόσμου, επειδή είναι έξω από το εύρος των εμπειριών τους. Επίσης, η συμβολική αναπαράσταση συνδέεται άμεσα με τα μακροσκοπικά και υπομικροσκοπικά φαινόμενα, τα οποία απαιτούνται για την απεικόνιση μιας χημικής αντίδρασης [5],[10].

Κατά τη διδασκαλία της Χημείας, συχνά οι εκπαιδευτικοί μετακινούνται από το ένα επίπεδο στο άλλο. Όταν οι μαθητές δεν έχουν κατανοήσει πλήρως τους διαφορετικούς τύπους αναπαράστασης και πώς αυτοί συνδέονται, οδηγούνται πολλές φορές σε ελλιπή κατανόηση των εννοιών ή/και εσφαλμένες αντιλήψεις [82].

Στον Πίνακα 5.2.7-1 παρουσιάζονται τα επίπεδα αναπαράστασης καθώς και τα θέματα, όπου έγινε εφαρμογή της τεχνολογίας AR.

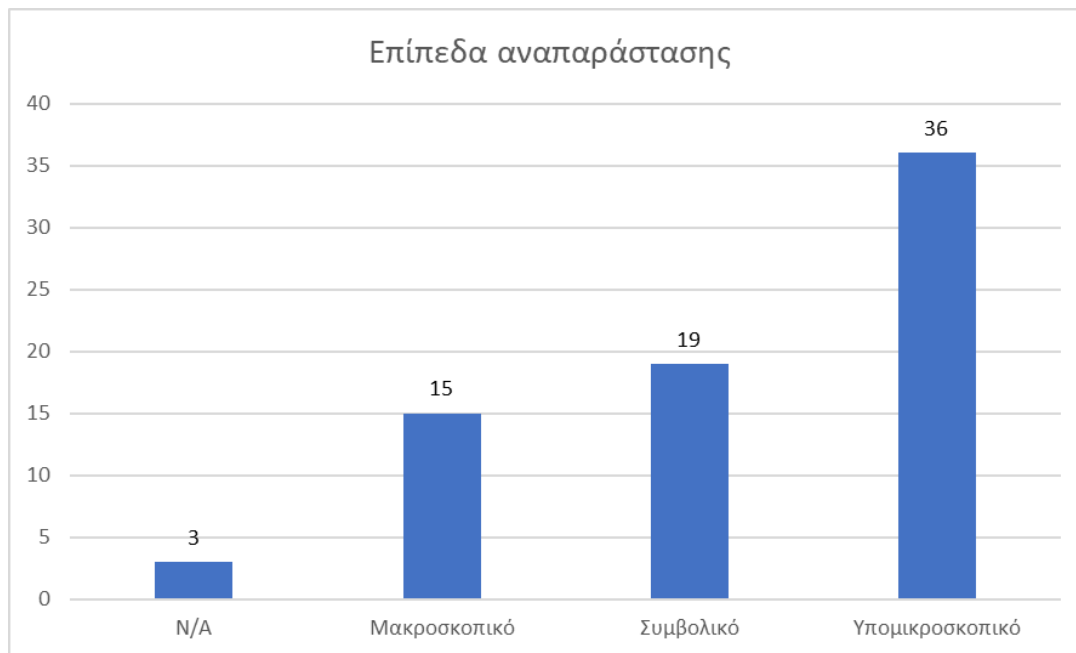
Πίνακας 5.2.7- 1: Επίπεδα αναπαράστασης και θέματα

Αναφορά	Επίπεδο αναπαράστασης	Θέμα
[1]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	σύνθεση ουσιών
[2]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	οργανικές αντιδράσεις
[3]	Μακροσκοπικό & Υπομικροσκοπικό	ηλεκτρολυτική κυψέλη
[4]	N/A	ιστορία της χημείας
[5]	Μακροσκοπικό, Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	πείραμα κυψέλης Daniell
[6]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	δομή και τη χρήση ενώσεων άνθρακα, αντίδραση οποιουδήποτε συνδυασμού τεσσάρων κοινών στοιχείων(O ₂ , H ₂ , Cl ₂ and Na)
[7]	Μακροσκοπικό	διάφορα διερευνητικά πειράματα

[8]	N/A	N/A
[9]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	μοριακή γεωμετρία
[10]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	δομές υλικών και χημική ισορροπία
[11]	Μακροσκοπικό	πειράματα ανόργανης χημείας
[12]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	δομή και τη χρήση ενώσεων άνθρακα, αντίδραση οποιουδήποτε συνδυασμού τεσσάρων κοινών στοιχείων(O ₂ , H ₂ , Cl ₂ and Na)
[13]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	μόρια οργανικών και ανόργανων ενώσεων
[14]	Υπομικροσκοπικό	μοριακή γεωμετρία
[15]	Μακροσκοπικό	αντίδραση οξειδοαναγωγής μεταξύ υπεροξειδίου του υδρογόνου και υποχλωριώδους νατρίου
[16]	Υπομικροσκοπικό	χημικοί δεσμοί
[17]	Μακροσκοπικό & Υπομικροσκοπικό	ηλεκτροχημεία
[18]	Υπομικροσκοπικό	αντίδραση οξειδοαναγωγής
[19]	Μακροσκοπικό & Υπομικροσκοπικό	διαλύματα ηλεκτρολυτών
[20]	Υπομικροσκοπικό	περιοδικός πίνακας
[21]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	πρωτεϊνική σύνθεση
[22]	Υπομικροσκοπικό	χημικά στοιχεία που υπάρχουν στα τρόφιμα
[23]	Υπομικροσκοπικό	άτομο, ηλεκτρόνια σθένους και ατομικό τροχιακό
[24]	Υπομικροσκοπικό	περιοδικός πίνακας, χημικές αντιδράσεις
[25]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	μοριακή γεωμετρία
[26]	Μακροσκοπικό	αντίδραση υδροχλωρικού οξέος (HCl) και υδροξειδίου του νατρίου (NaOH)
[27]	Υπομικροσκοπικό	χημικοί δεσμοί
[28]	Υπομικροσκοπικό	βασικές έννοιες των χημικών δεσμών και αντιδράσεων
[29]	Υπομικροσκοπικό	ατομικό μοντέλο
[30]	Υπομικροσκοπικό	περιοδικός πίνακας, χημικές αντιδράσεις

[31]	Μακροσκοπικό, Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	σύνθεση ουσιών
[32]	Μακροσκοπικό, Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	ρυθμός αντίδρασης
[33]	Υπομικροσκοπικό	χημικοί δεσμοί
[34]	Μακροσκοπικό	τιτλοδότηση οξέος-βάσης
[35]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	στερεοχημεία, αλληλεπιδράσεις μεταξύ μορίων
[36]	N/A	N/A
[37]	Μακροσκοπικό, Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	αλληλεπίδραση οξέος-βάσης
[38]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	Στερεές καταστάσεις (διάταξη ατόμων κρυσταλλικών μεταλλικών, μη μεταλλικών στοιχείων και ιοντικών και ομοιοπολικών ενώσεων)
[39]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	έννοιες της οργανικής χημείας όπως οι μοριακές μορφές, ο κανόνας της οκτάδας και ο δεσμός
[40]	Υπομικροσκοπικό	ηλεκτρολυτικά και μη ηλεκτρολυτικά διαλύματα
[41]	Μακροσκοπικό	απελευθέρωση οξυγόνου
[42]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	οργανικές ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο
[43]	Μακροσκοπικό	χημικά στοιχεία και σχετικές αντιδράσεις
[44]	Μακροσκοπικό & Υπομικροσκοπικό	αντίδραση οξέος-βάσης
[45]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	υδατάνθρακες
[46]	Υπομικροσκοπικό & Συμβολικό	μοριακή δομή και ιδιότητες οργανικών ενώσεων

Από τις 46 έρευνες, έγινε εφαρμογή της AR στο υπομικροσκοπικό επίπεδο αναπαράστασης σε 36 (78.26%), στο συμβολικό σε 19 (41.3%), στο μακροσκοπικό σε 15 (32.61%), ενώ 3 (6.52%) δεν έκαναν κάποια αναφορά (Σχήμα 5.2.7-1). Ακόμη, υπήρχε πληθώρα θεμάτων της Χημείας, όπως ο περιοδικός πίνακας, η μοριακή γεωμετρία, το ατομικό μοντέλο, αναπαράσταση πειραμάτων (π.χ. πείραμα κυνέλης Daniell) κ.α..



Σχήμα 5.2.7- 1: Επίπεδα αναπαράστασης

Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι έρευνες επικεντρώνονταν στο υπομικροσκοπικό επίπεδο αναπαράστασης, καθώς αποτελεί συχνότερα πρόκληση όσον αφορά την κατανόηση από τους μαθητές. Ωστόσο, η μελέτη των ερευνών έδειξε ότι η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας οδήγησε σε θετικά αποτελέσματα ανεξαρτήτως επιπέδου αναπαράστασης.

5.2.8 Τύποι AR που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων

Γενικά, τα συστήματα AR χωρίζονται σε συστήματα που βασίζονται σε τοποθεσία (location-based) και σε συστήματα που βασίζονται σε εικόνα (image-based).

Τα συστήματα AR που βασίζονται σε τοποθεσία χρησιμοποιούν δεδομένα σχετικά με τη θέση των κινητών συσκευών, τα οποία καθορίζονται από το GPS ή τα συστήματα εντοπισμού θέσης που βασίζονται σε Wi-Fi. Τα συστήματα AR που βασίζονται στην τοποθεσία επιτρέπουν στους χρήστες να μετακινούνται με κινητές συσκευές στο πραγματικό περιβάλλον. Οι χρήστες μπορούν να παρατηρούν πληροφορίες που δημιουργούνται από υπολογιστή στις οθόνες κινητών συσκευών, ενώ οι πληροφορίες εξαρτώνται από την τρέχουσα τοποθεσία των χρηστών σε ένα περιβάλλον.

Σε αντίθεση με το AR που βασίζεται σε τοποθεσία, το AR που βασίζεται σε εικόνα εστιάζει σε τεχνικές αναγνώρισης εικόνων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης των φυσικών αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον για την κατάλληλη τοποθέτηση του εικονικού περιεχομένου που σχετίζεται με αυτά τα αντικείμενα. Τα συστήματα AR που βασίζονται σε εικόνα χωρίζονται σε παρακολούθησης βάσει δείκτη (marker-based) και παρακολούθησης χωρίς δείκτες (markerless). Το AR που βασίζεται σε δείκτη απαιτεί την τοποθέτηση τεχνητών δεικτών (markers) στο πραγματικό περιβάλλον για τον προσδιορισμό της θέσης των φυσικών αντικειμένων στο περιβάλλον. Το AR χωρίς δείκτη δεν απαιτεί τεχνητούς δείκτες που τοποθετούνται στο πραγματικό περιβάλλον, αλλά αντίθετα βασίζεται στην παρακολούθηση των φυσικών χαρακτηριστικών των φυσικών αντικειμένων που υπάρχουν στο περιβάλλον [26].

Ο δείκτης μπορεί να είναι μια εικόνα ή φωτογραφία και ο τρόπος που λειτουργεί η τεχνολογία είναι ο εξής: α) η κάμερα ανιχνεύει τον δείκτη, β) το μοτίβο του δείκτη αναγνωρίζεται και επισημαίνεται, γ) η κάμερα συγκρίνει με τη βάση δεδομένων και δ) εμφανίζονται οι πληροφορίες του δείκτη δημιουργώντας τον επαυξημένο τρισδιάστατο κόσμο [83].

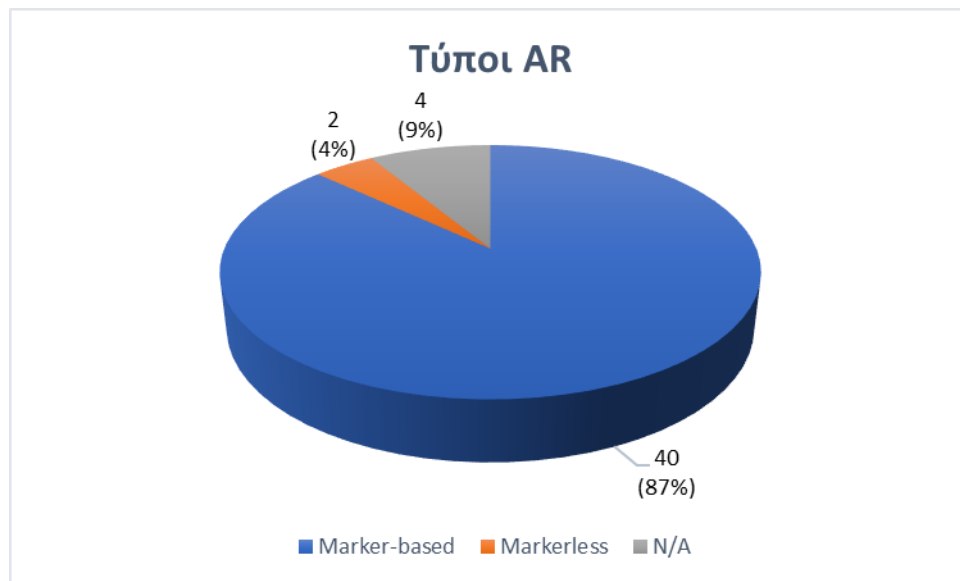
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τύπος Επαυξημένης Πραγματικότητας που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε έρευνα (Πίνακας 5.2.8-1).

Πίνακας 5.2.8- 1: Τύποι AR

Αναφορά	Τύπος AR
[1]	Marker-based
[2]	Marker-based
[3]	Marker-based
[4]	Marker-based
[5]	Marker-based
[6]	Marker-based
[7]	Marker-based
[8]	N/A
[9]	Marker-based
[10]	Marker-based
[11]	Marker-based
[12]	Marker-based
[13]	Marker-based
[14]	Marker-based
[15]	Marker-based
[16]	Marker-based
[17]	Marker-based
[18]	Marker-based
[19]	N/A
[20]	Marker-based
[21]	Markerless

[22]	Marker-based
[23]	N/A
[24]	Marker-based
[25]	Marker-based
[26]	Marker-based
[27]	Marker-based
[28]	Marker-based
[29]	Marker-based
[30]	Marker-based
[31]	Marker-based
[32]	Marker-based
[33]	Marker-based
[34]	Markerless
[35]	Marker-based
[36]	N/A
[37]	Marker-based
[38]	Marker-based
[39]	Marker-based
[40]	Marker-based
[41]	Marker-based
[42]	Marker-based
[43]	Marker-based
[44]	Marker-based
[45]	Marker-based
[46]	Marker-based

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας προέκυψε ότι, 40 έρευνες (87%) κάνανε χρήση της marker-based τεχνολογίας, 2 (4%) έκαναν χρήση της markerless, ενώ 4 (9%) δεν έκαναν κάποια αναφορά στον τύπο (Σχήμα 5.2.8-1).



Σχήμα 5.2.8- 1: Τύποι AR

Πέραν του ότι η χρήση της marker-based AR δεν απαιτεί σύνδεση στο Διαδίκτυο (όπως στη location-based), η διαδικασία ανάγνωσης από τους σαρωτές είναι ευκολότερη και λιγότερο χρονοβόρα σε σχέση με την markerless τεχνολογία [9].

5.2.9 Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων

Τα περιβάλλοντα επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να παρουσιαστούν στους χρήστες μέσω διαφορετικών συσκευών προβολής, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις τύπους: (1) συσκευές κεφαλής (HMDs), που είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, (2) κινητές συσκευές, όπως smartphone και tablet, (3) επιτραπέζιες οθόνες και (4) συστήματα προβολής μεγάλης οθόνης για παρουσίαση σε μεγαλύτερο κοινό [26].

Ο Πίνακας 5.2.9-1 παρουσιάζει την κατανομή συσκευών αναφορικά με τη βιβλιογραφία, καθώς και το λειτουργικό σύστημα των συσκευών αυτών.

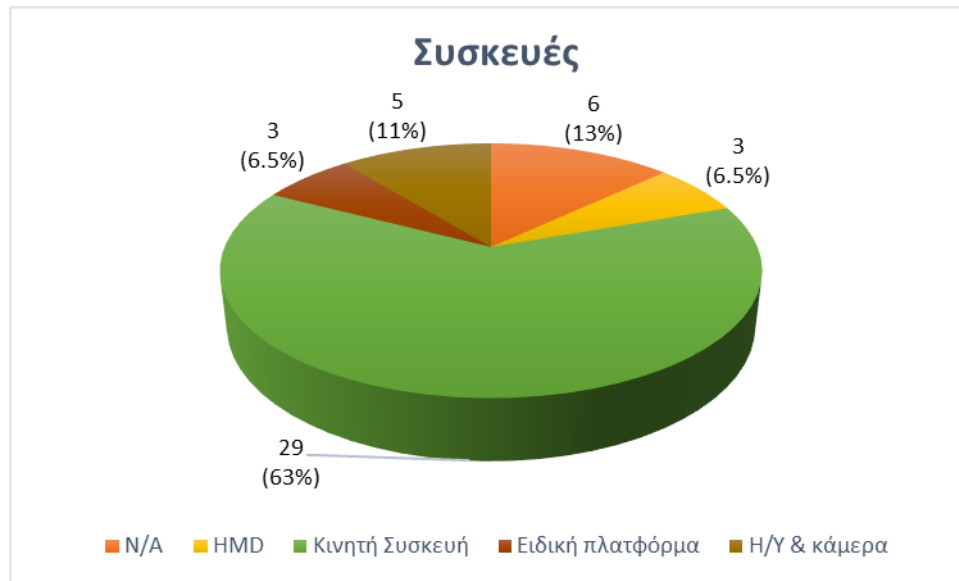
Πίνακας 5.2.9- 1 Συσκευές και Λειτουργικά Συστήματα

Αναφορά	Συσκευή	Λειτουργικό σύστημα
[1]	H/Y & κάμερα	Windows
[2]	Smartphone	Android
[3]	Κινητή Συσκευή	N/A

[4]	Tablet	N/A
[5]	Κινητή Συσκευή	Android
[6]	Κινητή Συσκευή	N/A
[7]	H/Y & κάμερα	N/A
[8]	Tablet	iOS
[9]	N/A	Android
[10]	Κινητή Συσκευή	N/A
[11]	Smartphone σε VR viewer (HMD)	N/A
[12]	Smartphone	N/A
[13]	AR lenses	N/A
[14]	Κινητή Συσκευή	Android
[15]	Tablet	Android
[16]	Tablet	N/A
[17]	N/A	N/A
[18]	Κινητή Συσκευή	N/A
[19]	Κινητή Συσκευή	Android
[20]	Smartphone	Android
[21]	HoloLens	N/A
[22]	Smartphone	N/A
[23]	N/A	N/A
[24]	Ειδική πλατφόρμα	N/A
[25]	H/Y & κάμερα	N/A
[26]	H/Y & κάμερα	Windows
[27]	Κινητή Συσκευή	N/A

[28]	N/A	N/A
[29]	Κινητή Συσκευή	Android
[30]	Ειδική πλατφόρμα	N/A
[31]	H/Y & κάμερα	Windows
[32]	Smartphone	N/A
[33]	Κινητή Συσκευή	N/A
[34]	Smartphone	N/A
[35]	Smartphone	Android
[36]	N/A	N/A
[37]	Κινητή Συσκευή	N/A
[38]	Κινητή Συσκευή	N/A
[39]	Ειδική πλατφόρμα	N/A
[40]	Smartphone	N/A
[41]	Tablet	N/A
[42]	N/A	N/A
[43]	Κινητή Συσκευή	N/A
[44]	Smartphone	N/A
[45]	Κινητή Συσκευή	Android
[46]	Tablet	N/A

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα 46 έγγραφα της βιβλιογραφίας, προέκυψε ότι η πλειοψηφία των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ήταν κινητές συσκευές. Αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν κινητές συσκευές σε 29 έρευνες (63%), ηλεκτρονικοί υπολογιστές σε 5 (11%), HMD σε 3 (6.5%), κάποιου είδους ειδικής πλατφόρμας σε 3 (6.5%), ενώ 6 έρευνες (13%) δεν προσδιόριζαν τη συσκευή (Σχήμα 5.2.9- 1).



Σχήμα 5.2.9- 1: Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν

Όσον αφορά τα λειτουργικά συστήματα των συσκευών, δε γινόταν αναφορά στην πλειοψηφία των ερευνών. Πιο συγκεκριμένα, το λειτουργικό σύστημα σε 10 (22%) ήταν το Android, σε 3 (6%) τα Windows, σε 1 (2%) το iOS, ενώ στις υπόλοιπες 32 (70%) δε γινόταν αναφορά (Σχήμα 5.2.9- 3). Παρόλ' αυτά, η εικόνα των λειτουργικών συστημάτων του 30% μπορεί να δικαιολογηθεί όταν λαμβάνεται υπόψιν το παγκόσμιο μερίδιο αγοράς των λειτουργικών συστημάτων και το γεγονός ότι τα πιο δημοφιλή κιτ ανάπτυξης λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας (SDK) εγγενώς υποστηρίζουν την ανάπτυξη εφαρμογών για το λειτουργικό σύστημα Android [84].



Σχήμα 5.2.9- 2: Λειτουργικά Συστήματα συσκευών

5.2.10 Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των εφαρμογών AR

Η δημιουργία εφαρμογών Επαυξημένης Πραγματικότητας διευκολύνθηκε σε τεράστιο βαθμό με την εμφάνιση μηχανών παιχνιδιών, κιτ ανάπτυξης λογισμικού (SDK) και βιβλιοθηκών για την ανάπτυξη εφαρμογών AR [85]. Μέσω των παραπάνω η δημιουργία περιεχομένου μπορεί να γίνει με ελάχιστες (ή καθόλου κάποιες φορές) δεξιότητες προγραμματισμού, ενώ επίσης, δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν ακριβά και πολύπλοκα συστήματα για την ανάπτυξη της εφαρμογής [86].

Στον Πίνακα 5.2.10-1 παρουσιάζονται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των εφαρμογών AR στις έρευνες, καθώς και τα ονόματα των εφαρμογών.

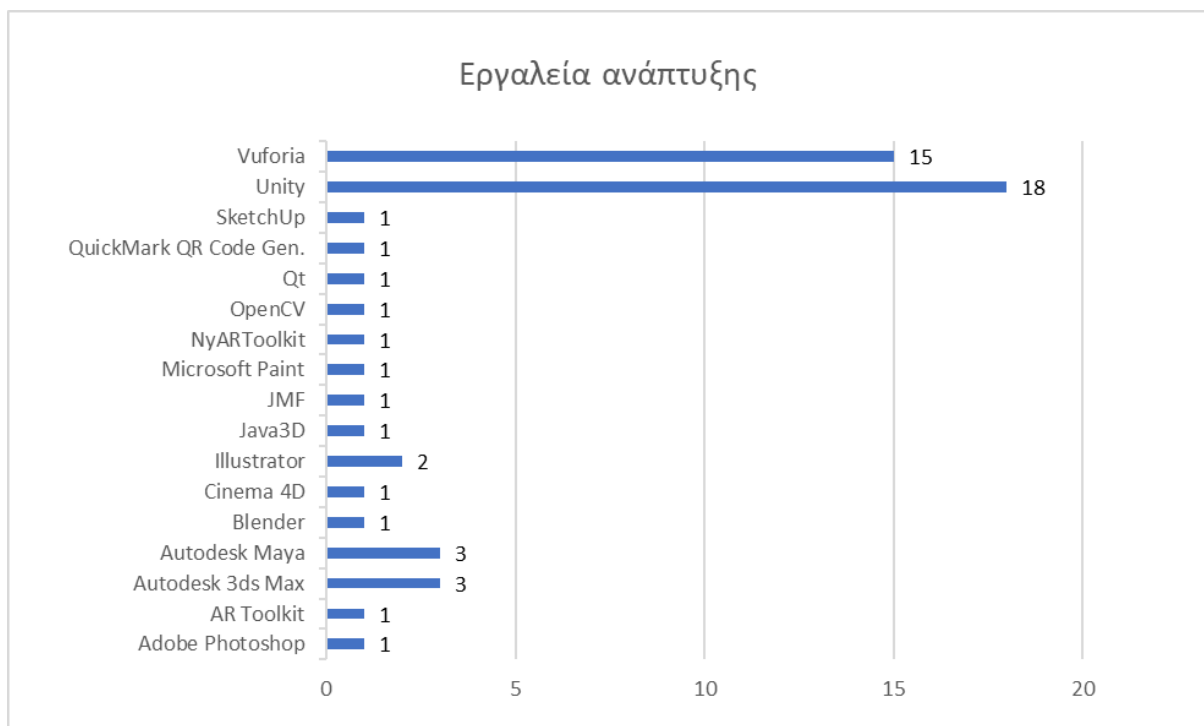
Πίνακας 5.2.10- 1: Εργαλεία ανάπτυξης και ονόματα εφαρμογών

Αναφορά	Εργαλεία ανάπτυξης	Όνομα εφαρμογής
[1]	NyARToolkit, Java3D and JMF	N/A
[2]	Unity, Vuforia	Edarch
[3]	N/A	N/A
[4]	Unity, Vuforia	AR chemistry history
[5]	Unity, Vuforia, Autodesk 3ds Max, QuickMark QR Code Generator	N/A
[6]	Unity, Vuforia	AIR-EDUTECH
[7]	Unity, Qt, OpenCV	N/A
[8]	N/A	N/A
[9]	N/A	N/A
[10]	Unity, Vuforia, Cinema 4D, Illustrator	N/A
[11]	N/A	N/A
[12]	Unity, Vuforia	AIR-EDUTECH
[13]	N/A	AR VR Molecules Editor
[14]	Unity, Vuforia, Autodesk Maya	N/A
[15]	Unity, Vuforia	N/A
[16]	N/A	N/A
[17]	Unity, Vuforia	N/A

[18]	Unity, Vuforia	N/A
[19]	N/A	ReAR
[20]	Unity, Vuforia	AR Kimia Kit
[21]	N/A	N/A
[22]	N/A	N/A
[23]	Unity, Autodesk Maya, Adobe Photoshop	AR Elements
[24]	N/A	N/A
[25]	N/A	Augmented Chemical Reactions
[26]	N/A	ARIES
[27]	N/A	N/A
[28]	N/A	ReAQ
[29]	Unity, Vuforia, Blender	N/A
[30]	N/A	N/A
[31]	N/A	N/A
[32]	N/A	N/A
[33]	Unity, Vuforia, Illustrator	AR Chemistry Learning
[34]	Unity	MAR Lab
[35]	N/A	Organic Molecule AR/VR
[36]	N/A	MoleculARweb (website with numerous apps)
[37]	N/A	N/A
[38]	Unity, Vuforia, Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya, SketchUp	N/A
[39]	AR Toolkit	Augmented Chemistry
[40]	N/A	N/A

[41]	N/A	O2 LAB©
[42]	Microsoft Paint	Blippar
[43]	N/A	Elements 4D
[44]	N/A	N/A
[45]	Unity, Vuforia, Autodesk 3ds Max	LiCo.STEAM Sugar
[46]	N/A	N/A

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας παρατηρήθηκε ότι το Unity ήταν το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο ανάπτυξης μαζί με το Vuforia. Πιο συγκεκριμένα, σε 18 έρευνες (39.13%) έγινε χρήση του Unity, σε 15 του Vuforia (32.6%), σε 3 (6.52%) του Autodesk 3ds Max, σε 3 (6.52%) του Autodesk Maya, σε 2 (4.35%) του Illustrator, ενώ τα NyARToolkit, Java3D, JMF, QuickMark QR Code Gen., Qt, OpenCV, Cinema 4D, Adobe Photoshop, Blender, SketchUp, AR Toolkit και Microsoft Paint χρησιμοποιήθηκαν σε 1 (2.17%) έρευνα το καθένα (Σχήμα 5.2.10-1).



Σχήμα 5.2.10- 1: Εργαλεία ανάπτυξης των εφαρμογών

Το Vuforia είναι ένα kit ανάπτυξης λογισμικού επαυξημένης πραγματικότητας (SDK) που χρησιμοποιεί τεχνολογία όρασης υπολογιστή για να αναγνωρίζει και να παρακολουθεί στόχους, μοτίβα, εικόνες και αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο. Στοχεύει στη δημιουργία κόμβων στην εικόνα έτσι ώστε τα τρισδιάστατα αντικείμενα να μπορούν να εμφανίζονται αφού εντοπιστούν από έναν σαρωτή, όπως μέσω μιας συσκευής κάμερας, αναγνωρίζοντας τη θέση και τον προσανατολισμό [9].

Το Unity είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία παιχνιδιών και εφαρμογών με διάφορες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων τεχνολογιών γραφικών, ήχου, φυσικής και δικτύωσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ελεγκτών κίνησης σε τρισδιάστατα μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί ή/και σε στόχους που έχουν εντοπιστεί χρησιμοποιώντας το Vuforia, το οποίο μπορεί να εισαχθεί στο Unity [9].

Τέλος, η ευρεία χρήση των Vuforia και Unity διευκολύνει τη λήψη υποστήριξης από την κοινότητα, σε περίπτωση που χρειαστεί, ενώ επιπλέον, το ηλεκτρονικό κατάστημα του Unity παρέχει μεγάλη ποικιλία πόρων, μειώνοντας έτσι την ανάγκη ανάπτυξης κάθε στοιχείου από την αρχή [87-88].

5.3 Επίλογος

Έπειτα από την ανάλυση της βιβλιογραφίας και την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων, γίνεται εμφανές ότι η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας μπορεί να επιφέρει πολλά οφέλη στην διδασκαλία της Χημείας στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας, η Επαυξημένη Πραγματικότητα ενισχύει την επίδοση, την ενεργητική μάθηση, τη διατήρηση της γνώσης και τη συνεργατικότητα. Επιπλέον, από την ανάλυση των ερευνητικών ερωτημάτων εξάχθηκαν πολλές πληροφορίες αναφορικά με τις προκλήσεις, τις μεθόδους έρευνας, το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε έρευνα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, τα επίπεδα αναπαράστασης της Χημείας όπου εφαρμόστηκε η τεχνολογία AR, τους τύπους AR και τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, τα εργαλεία ανάπτυξης των εφαρμογών, καθώς και τα λειτουργικά συστήματα στα οποία έτρεχαν.

Κεφάλαιο 6^ο : Συμπεράσματα

Αυτή η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση παρουσίασε τη χρήση και τις δυνατότητες της τεχνολογίας AR στη διδασκαλία και την εκμάθηση της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Για την εξαγωγή πληροφοριών και συμπερασμάτων έγινε ανάκτηση και μελέτη 46 ερευνών από 5 βάσεις δεδομένων, ακολουθώντας το πρωτόκολλο PRISMA. Στην Δ.Ε. παρουσιάστηκαν οι θετικές συνέπειες που είχε η AR, οι προκλήσεις, οι μέθοδοι έρευνας και τα εργαλεία εξαγωγής στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες, ο τρόπος διαχείρισης και τα στοιχεία των δειγμάτων των μαθητών, τα επίπεδα αναπαράστασης και τα πεδία της Χημείας στα οποία εφαρμόστηκε η AR, καθώς και οι τύποι AR, οι συσκευές, τα λειτουργικά συστήματα και τα εργαλεία ανάπτυξης των εφαρμογών που χρησιμοποιήθηκαν.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης της βιβλιογραφίας, οι έρευνες διεξήχθησαν από το 2007 έως το 2022, παρατηρώντας αύξησή τους τα τελευταία χρόνια. Σε αυτές συμμετείχαν χώρες από όλο τον κόσμο, με μεγαλύτερη, ωστόσο, συμμετοχή από χώρες της Ασίας, όπως την Ταϊβάν και την Κίνα.

Οι θετικές συνέπειες της χρήσης της AR περιλάμβαναν τη βελτίωση της απόδοσης των μαθητών, τη μείωση του γνωστικού φορτίου, την καλύτερη διατήρηση της γνώσης, την αύξηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ μαθητών και μαθητή-δασκάλου, καθώς και την αύξηση του ενδιαφέροντος, της διασκέδασης κλπ.. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την οπτικοποίηση στοιχείων, εννοιών και φαινομένων με διαφορετικούς τρόπους και σε διαφορετικές γωνίες θέασης. Αυτό βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα αυτά τα θέματα, μειώνοντας σημαντικά και την πιθανότητα παρανοήσεων. Επίσης, ένα σημαντικό πλεονέκτημα αφορά το κομμάτι των εργαστηριακών πειραμάτων. Ο παραδοσιακός πειραματικός εξοπλισμός και τα διάφορα υλικά έχουν σημαντικό κόστος. Η εφαρμογή περιβαλλόντων AR μπορεί να δώσει λύση σε αυτό το θέμα και στο θέμα της ασφάλειας, καθώς οι ανειδίκευτοι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν δυνητικά επικίνδυνες καταστάσεις χωρίς κίνδυνο πρόκλησης βλάβης στον εαυτό τους ή ζημιάς σε ακριβό εξοπλισμό.

Η μελέτη που έγινε έδειξε ότι οι θετικές συνέπειες που αναφέρθηκαν προηγουμένως ισχύουν για τους μαθητές (και σε μεγαλύτερο βαθμό για τους πιο αδύναμους), ανεξάρτητα από το φύλο, το αν είναι μαθητές Γυμνασίου ή Λυκείου και το πεδίο της Χημείας πάνω στο οποίο έγιναν οι έρευνες· με ίσως κάποιες ασήμαντες διαφορές.

Διευκόλυνση για την είσοδο της AR στην εκπαίδευση αποτελεί σε τεράστιο βαθμό η εξέλιξη και των κινητών συσκευών και η ανάπτυξη σπουδαίων εργαλείων ανάπτυξης AR εφαρμογών· παρατηρώντας και την αύξηση των ερευνών το ίδιο χρονικό διάστημα. Η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας μέσω των κινητών συσκευών δεν περιορίζεται από χώρο ή χρόνο, παρέχοντας στο χρήστη τη δυνατότητα για εξερεύνηση, τόσο εντός όσο κι εκτός μαθήματος. Από την άλλη, εργαλεία όπως το Unity και το Vuforia διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών για τη βελτίωση της διδασκαλίας και εκμάθησης της Χημείας, με προτίμηση του marker-based τύπου σύμφωνα με τη μελέτη.

Παρά τα πολλαπλά οφέλη που φέρνει η AR στη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια υπάρχουν κάποιες προκλήσεις. Παραδείγματος χάριν, σε κάποιες έρευνες (αν και ήταν ελάχιστες) υπήρξαν τεχνικά ζητήματα. Ωστόσο, μιλάμε για μια συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία κι ως εκ τούτου, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι, καθώς αυτή η τεχνολογία προχωρά, τέτοιου είδους ζητήματα θα πάνε να υφίστανται. Επίσης, θα πρέπει να γίνει ανάπτυξη υλικού που να καλύπτει και να μπορεί να συνδιαστεί με το υπάρχον υλικό στην εκπαίδευση, ενώ θα πρέπει κι οι εκπαιδευτικοί να αποδεχτούν και

Κεφάλαιο 6°

να είναι σε θέση να ενσωματώσουν σωστά την τεχνολογία αυτή στο μάθημα, ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Κλείνοντας, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα προηγούμενα, με την εις βάθος και λεπτομερή έρευνα καθώς και την τεχνολογική πρόοδο, είναι ξεκάθαρο ότι η τεχνολογία AR θα αποτελέσει ένα σπουδαίο εργαλείο για τη διδασκαλία και την εκμάθηση της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, κάνοντας το μάθημα πιο ενδιαφέρον και πιο εύκολα κατανοητό.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Cai, Su & Wang, Xu & Chiang, Forite. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*. 37. 31–40. 10.1016/j.chb.2014.04.018.
- [2] Coelho, Filadelfo & Magalhaes Netto, Jose & Almeida, Thais. (2022). A Case Study Using Augmented Reality for Teaching Organic Compound Reactions. 1-7. 10.1109/FIE56618.2022.9962460.
- [3] Zhang, Peng & Li, Jiangxu & Chang, Junting & Li, Sheng & Cai, Su. (2020). A Comparative Study of the Influence of Interactive AR-Based Experiential Teaching on Cognitive Ability in a Chemical Electrolytic Cell Course. 88-92. 10.1109/ISET49818.2020.00028.
- [4] Wang, Shu-ming & CHEN, Kuan-Ting & Hou, Huei-Tse & Li, Cheng-Tai. (2017). A science history educational board game with augmented reality integrating collaborative problem solving and scaffolding strategies.
- [5] Tarng W, Lin Y-J, Ou K-L. A Virtual Experiment for Learning the Principle of Daniell Cell Based on Augmented Reality. *Applied Sciences*. 2021; 11(2):762. <https://doi.org/10.3390/app11020762>.
- [6] L. Mahmoud Mohd Said Al Qassem, H. Al Hawaii, S. AlShehhi, M. J. Zemerly and J. W. P. Ng, "AIR-EDUTECH: Augmented immersive reality (AIR) technology for high school Chemistry education," 2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2016, pp. 842-847, doi: 10.1109/EDUCON.2016.7474650.
- [7] Zhang, Zhenning & Li, Zichen & Han, Meng & su, Zhiyong & Li, Weiqing & Pan, Zhigeng. (2021). An augmented reality-based multimedia environment for experimental education. *Multimedia Tools and Applications*. 80. 1-16. 10.1007/s11042-020-09684-x.
- [8] Li, Tiantian & Tse, Alex. (2021). An Exploration of the Influence of 2D Image-Based Augmented Reality, Virtual Reality, and on-site experiment on Learning Achievement and Technology Acceptance: Based on a Secondary School Chemical Experiment Class. 86-92. 10.1145/3502434.3502452.
- [9] Rahmawati Y, Dianhar H, Arifin F. Analysing Students' Spatial Abilities in Chemistry Learning Using 3D Virtual Representation. *Education Sciences*. 2021; 11(4):185. <https://doi.org/10.3390/educsci11040185>.
- [10] Tarng, Wernhuar & Tseng, Yu-Cheng & Ou, Kuo-Liang. (2022). Application of Augmented Reality for Learning Material Structures and Chemical Equilibrium in High School Chemistry. *Systems*. 10. 141. 10.3390/systems10050141.
- [11] M. Okamoto, T. Ishimura & Y. Matsubara. (2017). AR-based Inorganic Chemistry Learning Support System using Mobile HMD.
- [12] L. Cen, D. Ruta, L. M. M. S. Al Qassem and J. Ng, "Augmented Immersive Reality (AIR) for Improved Learning Performance: A Quantitative Evaluation," in *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 13, no. 2, pp. 283-296, 1 April-June 2020, doi: 10.1109/TLT.2019.2937525.
- [13] Sepulveda, Eileen & Quintana, Maria. (2020). Augmented Reality as a Sustainable Technology to Improve Academic Achievement in Students with and without Special Educational Needs. *Sustainability*. 12. 10.3390/su12198116.

- [14] Abbasi, Faima & Waseem, Ayesha & Ashraf, Erum. (2017). Augmented reality based teaching in classrooms. 259-264. 10.1109/C-CODE.2017.7918939.
- [15] Gan, Hong & Tee, Nicholas & Bin Mamtaz, Md Raziun & Xiao, Kevin & Cheong, Brandon & Liew, Oi Wah & Ng, Tuck. (2018). Augmented reality experimentation on oxygen gas generation from hydrogen peroxide and bleach reaction: Augmented Reality Experimentation on Oxygen Gas Generation. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 46. 10.1002/bmb.21117.
- [16] Rholeo O. Virata and Johan Daryll L. Castro. 2019. Augmented reality in science classroom: perceived effects in education, visualization and information processing. In *Proceedings of the 10th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management and E-Learning (IC4E '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 85–92. <https://doi.org/10.1145/3306500.3306556>.
- [17] Chen, Ming-Puu & Liao, Ban-Chieh. (2015). Augmented Reality Laboratory for High School Electrochemistry Course. 132-136. 10.1109/ICALT.2015.105.
- [18] Au, Thien Wan & Yat San, Leong & Omar, Mohammad. (2018). Augmented Reality Technology for Year 10 Chemistry Class: Can the Students Learn Better?. *International Journal of Computer-Assisted Language Learning and Teaching*. 8. 45-64. 10.4018/IJCALLT.2018100104.
- [19] F. I. Maulana, A. Hidayati, I. A. Agustina, A. Purnomo and V. P. Widartha, "Augmented Reality Technology ReAR Contribution to The Student Interest in High Schools Pontianak Indonesia," 2021 3rd International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS), Makasar, Indonesia, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICORIS52787.2021.9649492.
- [20] Majid, Nazatul & Majid, Nurfaizah. (2018). Augmented Reality to Promote Guided Discovery Learning for STEM Learning. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 8. 1494. 10.18517/ijaseit.8.4-2.6801.
- [21] Bernholt, Sascha & Broman, Karolina & Siebert, Sara & Parchmann, Ilka. (2019). Digitising Teaching and Learning – Additional Perspectives for Chemistry Education. *Israel Journal of Chemistry (Online)*. 59. 554-564. 10.1002/ijch.201800090.
- [22] Mariscal, Antonio. (2018). Discovering the Chemical Elements in Food. *Journal of Chemical Education*. 95. 10.1021/acs.jchemed.7b00218.
- [23] M. D. Urzúa Reyes, J. A. Gómez Urzúa and B. O. De La Re Dávila, "Enhancing Comprehension of the Internal Structure of the Atom with a Virtual 3D Environment," 2021 Machine Learning-Driven Digital Technologies for Educational Innovation Workshop, Monterrey, Mexico, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF53024.2021.9733762.
- [24] Pribeanu, C., Iordache, D.D. (2008). Evaluating the Motivational Value of an Augmented Reality System for Learning Chemistry. In: Holzinger, A. (eds) *HCI and Usability for Education and Work*. USAB 2008. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 5298. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_3.
- [25] Maier, P., & Klinker, G.J. (2013). Evaluation of an Augmented-Reality-based 3D User Interface to Enhance the 3D-Understanding of Molecular Chemistry. *International Conference on Computer Supported Education*.

- [26] Wojciechowski, Rafał & Cellary, Wojciech. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*. 68. 570-585. 10.1016/j.compedu.2013.02.014.
- [27] Saidin, Nor & Halim, Noor & Yahaya, Noraffandy. (2019). Framework for Developing a Mobile Augmented Reality for Learning Chemical Bonds. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*. 13. 54. 10.3991/ijim.v13i07.10750.
- [28] Uriarte-Portillo A, Ibáñez M-B, Zatarain-Cabada R, Barrón-Estrada M-L. Higher Immersive Profiles Improve Learning Outcomes in Augmented Reality Learning Environments. *Information*. 2022; 13(5):218. <https://doi.org/10.3390/info13050218>.
- [29] Merino, C. ., & García, Álvaro G. (2019). Incorporación de realidad aumentada en el desarrollo de la visualización. Un estudio con estudiantes de secundaria en torno al modelo atómico. *Pensamiento Educativo, Revista De Investigación Latinoamericana (PEL)*, 56(2), 1–23. <https://doi.org/10.7764/PEL.56.2.2019.6>
- [30] M. D. Urzúa Reyes, J. A. Gómez Urzúa and B. O. De La Re Dávila, "Enhancing Comprehension of the Internal Structure of the Atom with a Virtual 3D Environment," 2021 Machine Learning-Driven Digital Technologies for Educational Innovation Workshop, Monterrey, Mexico, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF53024.2021.9733762.
- [31] Chang, Rong-Chi & Chung, Ling-Yi. (2018). Integrating Augmented Reality Technology into Subject Teaching: The Implementation of an Elementary Science Curriculum. 187-195. 10.1007/978-981-10-3187-8_20.
- [32] Kumta, Ingon & Srisawasdi, Niwat. (2015). Investigating Correlation between Students' Attitude toward Chemistry and Perception toward Augmented Reality, and Gender Effect.
- [33] Macariu, Camelia & Iftene, Adrian & Gîfu, Daniela. (2020). Learn Chemistry with Augmented Reality. *Procedia Computer Science*. 176. 2133-2142. 10.1016/j.procs.2020.09.250.
- [34] Dominguez Alfaro, Jessica Lizeth & Gantois, Stefanie & Blattgerste, Jonas & De Croon, Robin & Verbert, Katrien & Pfeiffer, Thies & Puyvelde, Peter. (2022). Mobile Augmented Reality Laboratory for Learning Acid–Base Titration. *Journal of Chemical Education*. XXXX. 10.1021/acs.jchemed.1c00894.
- [35] Chiu, Mei-Hung & Chou, Chin-Cheng & Chen, Yi-Hung & Hung, TaMin & Tang, Wei-Tian & Hsu, Jin-Wei & Liaw, Hongming & Tsai, Ming-Kang. (2018). Model-based learning about structures and properties of chemical elements and compounds via the use of augmented realities. *Chemistry Teacher International*. 1. 10.1515/cti-2018-0002.
- [36] Rodríguez, Fabio & Frattini, Gianfranco & Krapp, Lucien & Martínez Hung, Hassan & Moreno, Diego & Roldán, Mariana & Salomón, Jorge & Stemkoski, Lee & Traeger, Sylvain & Peraro, Matteo & Abriata, Luciano. (2021). MolecuLARweb: A Web Site for Chemistry and Structural Biology Education through Interactive Augmented Reality out of the Box in Commodity Devices. *Journal of Chemical Education*. 98. 10.1021/acs.jchemed.1c00179.
- [37] Boonterng, Lalita & Srisawasdi, Niwat. (2015). Monitoring Gender Participation with Augmented Reality represented Chemistry Phenomena and Promoting Critical Thinking.
- [38] Amrit, Mannu & Bansal, Himanshu & Yammiyavar, Pradeep. (2015). Studies in Application of Augmented Reality in E-Learning Courses. 35. 375-384. 10.1007/978-81-322-2229-3_32.

- [39] Fjeld, Morten & Fredriksson, Jonas & Ejdestig, Martin & Duca, Florin & Bötschi, Kristina & Voegtli, Benedikt & Juchli, Patrick. (2007). Tangible user interface for chemistry education: Comparative evaluation and re-design. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. 805-808. 10.1145/1240624.1240745.
- [40] Nurrohmah, S & Supriatna, Asep & Fatimah, Sitti & Setiaji, Barkah. (2020). The application of scaffolding augmented reality (AR) media in the sharing task learning of electrolyte and non-electrolyte solutions. *Journal of Physics: Conference Series*. 1521. 042064. 10.1088/1742-6596/1521/4/042064.
- [41] Hou, Huei-Tse & Lin, Ying-Chen. (2017). The Development and Evaluation of an Educational Game Integrated with Augmented Reality and Virtual Laboratory for Chemistry Experiment Learning. 1005-1006. 10.1109/IIAI-AAI.2017.14.
- [42] D A Karnishyna, T V Selivanova, P P Nechypurenko, T V Starova and V G Stoliarenko. (2022). The use of augmented reality in chemistry lessons in the study of “Oxygen-containing organic compounds” using the mobile application Blippar.
- [43] Chen, Shih-Yeh & Liu, Shiang-Yao. (2020). Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*. 111. 106418. 10.1016/j.chb.2020.106418.
- [44] Nachairit, Apichon & Srisawasdi, Niwat. (2015). Using Mobile Augmented Reality for Chemistry Learning of Acid-base Titration: Correlation between Motivation and Perception.
- [45] Midak, Liliya & Pahomov, Ju & Kuzyshyn, O & Lutsyshyn, Victor & Kravets, I & Buzhdyhan, Khrystyna & Baziuk, L. (2022). Visualizing the school organic chemistry course with augmented reality. *Journal of Physics: Conference Series*. 2288. 012017. 10.1088/1742-6596/2288/1/012017.
- [46] Ling, Yizhou & Zhu, Pengfei & Yu, Jiayan. (2021). Which types of learners are suitable for augmented reality? A fuzzy set analysis of learning outcomes configurations from the perspective of individual differences. *Educational Technology Research and Development*. 69. 10.1007/s11423-021-10050-3.
- [47] MacCallum, Kathryn. (2022). The integration of extended reality for student-developed games to support cross-curricular learning. *Frontiers in Virtual Reality*. 3. 888689. 10.3389/frvir.2022.888689.
- [48] Alnagrat, Ahmed & Ismail, R.C. & Syed Idrus, Syed Zulkarnain. (2022). A Review of Extended Reality (XR) Technologies in the Future of Human Education: Current Trend and Future Opportunity. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 1. 81-96. 10.11113/humentech.v1n2.27.
- [49] Margrett, J. A., Ouverson, K. M., Gilbert, S. B., Phillips, L. A., and Charness, N. (2022). Older adults' use of extended reality: A systematic review. *Front. Virtual Real.* 2. doi:10.3389/frvir.2021.760064
- [50] Çöltekin, A., Lochhead, I., Madden, M., Christophe, S., Devaux, A., Pettit, C., et al. (2020). Extended reality in spatial sciences: A review of research challenges and future directions. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 9 (7), 439. doi:10.3390/ijgi9070439
- [51] Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., and Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Comput. Educ.* 147, 103778. doi:10.1016/j.compedu.2019.103778
- [52] H. Rheingold, *Virtual Reality The Revolutionary Technology of Computer-Generated Artificial Worlds - and How It Promises to Transform Society*, New York, Simon & Schuster, 1992.

- [53] B. Marr, *Extended Reality in Practice*, Chichester, Wiley, 2021.
- [54] R. T. Azuma. A survey of augmented reality, *Presence Teleoperators Virtual Environment*, 6(4):355–385, 1997.
- [55] G.N. Rao, K.A. Kumari, D.R. Shankar and K.G. Kharade. A comparative study of augmented reality-based head-worn display devices, *Materials Today Proceedings*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.400>
- [56] Milgram, P.; Kishino, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Inf. Syst.* 1994, 77, 1321–1329.
- [57] Kancherla, A.; Rolland, J.; Wright, D.; Burdea, G. A Novel Virtual Reality Tool for Teaching Dynamic 3D Anatomy. In *International Conference on Computer Vision, Virtual Reality, and Robotics in Medicine; Lecture Notes in Computer Science*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1995; pp. 163–169.
- [58] Garzón, J.; Acevedo, J. Meta-Analysis of the Impact of Augmented Reality on Students' Learning Effectiveness. *Educ. Res. Rev.* 2019, 27, 244–260.
- [59] Mekni, M.; Lemieux, A. Augmented Reality: Applications, Challenges and Future Trends. *Appl. Comput. Sci.* 2014, 20, 205–214.
- [60] Bevan, N.; Carter, J.; Harker, S. ISO 9241-11 Revised: What Have We Learnt about Usability since 1998. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction 2015*, Los Angeles, CA, USA, 2–4 August 2015; pp. 143–151.
- [61] Bower, M.; Howe, C.; McCredie, N.; Robinson, A.; Grover, D. Augmented Reality in Education—Cases, Places and Potentials. *EMI Educ. Med. Int.* 2014, 51, 1–15.
- [62] Bacca, J.; Baldiris, S.; Fabregat, R.; Graf, S.; Kinshuk. Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educ. Technol. Soc.* 2014, 17, 133–149.
- [63] ABI Research. *Display Technology in Augmented and Mixed Reality*. 2018. Available online: <https://www.abiresearch.com/marketresearch/product/1027944-display-technology-in-augmented-and-mixed/>.
- [64] Kumari, T. Review of Effective Implementation of Augmented Reality Using Internet WebAR. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* 2020, 8, 303–307.
- [65] Liu, R.; Salisbury, J.P.; Vahabzadeh, A.; Sahin, N.T. Feasibility of an Autism-Focused Augmented Reality Smartglasses System for Social Communication and Behavioral Coaching. *Front. Pediatr.* 2017, 5, 145.
- [66] Page, M.J.; McKenzie, J.E.; Bossuyt, P.M.; Boutron, I.; Hoffmann, T.C.; Mulrow, C.D.; Shamseer, L.; Tetzlaff, J.M.; Akl, E.A.; Brennan, S.E.; et al. The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *Int. J. Surg.* 2021, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>.
- [67] Liberati, A. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *Ann. Intern. Med.* 2009, 151, 65–94. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00136>.

- [68] Higgins, J.P.; Thomas, J.; Chandler, J.; Cumpston, M.; Li, T.; Page, M.J.; Welch, V.A. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119536604>.
- [69] Webster, J.; Watson, R.T. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Q.* 2002, 26, xiii–xxiii.
- [70] Aksnes, D.W.; Sivertsen, G. A Criteria-Based Assessment of the Coverage of Scopus and Web of Science. *J. Data Inf. Sci.* 2019, 4, 1–21. <https://doi.org/10.2478/jdis-2019-0001>.
- [71] Saidin, Nor & Abd halim, Noor & Yahaya, Noraffandy. (2015). A Review of Research on Augmented Reality in Education: Advantages and Applications. *International Education Studies.* 8. 10.5539/ies.v8n13p1.
- [72] J. Garzón, J. Pavón, and S. Baldiris, “Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings,” *Virtual Reality*, vol. 23, no. 4, pp. 447–459, Dec. 2019, doi: 10.1007/s10055-019-00379-9.
- [73] M. B. Garcia, “Augmented reality in history education: an immersive storytelling of American colonisation period in the Philippines,” *IJLT*, vol. 15, no. 3, p. 234, 2020, doi: 10.1504/IJLT.2020.112170.
- [74] Keller, Sebastian & Rumann, Stefan & Habig, Sebastian. (2021). Cognitive Load Implications for Augmented Reality Supported Chemistry Learning. *Information (Switzerland).* 12. 96. 10.3390/info12030096. [75] J. W. Lai and K. H. Cheong, “Educational Opportunities and Challenges in Augmented Reality: Featuring Implementations in Physics Education,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 43143–43158, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3166478.
- [76] Berrios, R., & Lucca, N. (2006). Qualitative methodology in counseling research: Recent contributions and challenges for a new century. *Journal of Counseling & Development*, 84(1), 174-186.
- [77] Creswell, J. W. (2003). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- [78] Creswell, J. W., & Clark, V. L. (2007). *Designing and conducting mixed methods research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- [79] Hurmerinta-Peltomaki, L., & Nummeia, N. (2006). Mixed methods in international business research: A value-added perspective. *Management International Review*, 46(4), 439-459.
- [80] Bailey, R. A. (2008). *Design of Comparative Experiments*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-68357-9.
- [81] Hinkelmann, Klaus; Kempthorne, Oscar (2008). *Design and Analysis of Experiments, Volume I: Introduction to Experimental Design* (2nd ed.). Wiley. ISBN 978-0-471-72756-9.
- [82] Wu, H.-K.; Shah, P. Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning. *Sci. Educ.* 2004, 88, 465–492.
- [83] Isnani Juni Fitriyah, A. M. Setiawan, Muhammad Fajar Marsuki, Erti Hamimi; Development of augmented reality teaching materials of chemical bonding. *AIP Conference Proceedings* 2 March 2021; 2330 (1): 020043. <https://doi.org/10.1063/5.0043235>

- [84] Laricchia, F. Mobile OS Market Share 2021. In Statista. 2022; Available online: <https://www.statista.com/statistics/272698/globalmarket-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>.
- [85] Amin, D.; Govilkar, S. Comparative Study of Augmented Reality Sdk'S. *Int. J. Comput. Sci. Appl.* 2015, 5, 11–26.
- [86] Chen, Y.; Wang, Q.; Chen, H.; Song, X.; Tang, H.; Tian, M. An Overview of Augmented Reality Technology. *J. Phys. Conf. Ser.* 2019, 1237, 1–5.
- [87] Rostianingsih, Silvica & Setiawan, Alexander & Halim, Christopher. (2018). Ionic and Metallic Bonding Visualization Using Augmented Reality. 1-4. 10.1109/TIMES-iCON.2018.8621665.
- [88] Solmaz, S., Domínguez Alfaro, J.L., Santos, P., Van Puyvelde, P., & Van Gerven, T. (2021). A practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments. *Education for Chemical Engineers*, 35, 81-93.