

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Έρευνες για τις ιδέες των Ελλήνων μαθητών και Εκπαιδευτικών για τις
έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας:
Ανασκόπηση και Παρουσίαση»**

Γεώργιος Τζιόλας

ΒΟΛΟΣ 2024

UNIVERSITY OF THESSALY
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC ENVIRONMENT
AND DEPARTMENT OF SPECIAL EDUCATION
JOINT POSTGRADUATE PROGRAMME
«EDUCATION FOR SUSTAINABILITY AND THE ENVIRONMENT»



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

JOINT POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**«Research on the ideas of Greek students and teachers on the
concepts of Genetics and Heredity: Review and presentation».**

Georgios Tziolas

VOLOS 2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. Παρασκευόπουλος Στέφανος, Καθηγητής, Π.Τ.Ε.Α., Π.Θ., **Επιβλέπων.**
2. Αθανασίου Κυριάκος, Ομότ. Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α., **Συνεπιβλέπων.**
3. Παπαδοπούλου Πηνελόπη, Καθηγήτρια, Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών, Π.Δ.Μ., **Μέλος.**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία διερευνά τις αντιλήψεις των Ελλήνων μαθητών και εκπαιδευτικών σχετικά με τις βασικές έννοιες της γενετικής και της κληρονομικότητας στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Αποτελεί ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας και επικεντρώνεται στη σημασία της κατανόησης των εννοιών αυτών για την ενίσχυση του βιολογικού εγγραμματισμού. Επιπλέον, η εργασία εξετάζει τις κυριότερες παιδαγωγικές προκλήσεις που εμποδίζουν την αποτελεσματική διδασκαλία της γενετικής, όπως οι παρανοήσεις και τα γνωστικά εμπόδια που παρατηρούνται στους μαθητές. Η μελέτη καταλήγει ότι οι μαθητές χρειάζονται ολοκληρωμένες διδακτικές προσεγγίσεις που θα προάγουν την κριτική σκέψη και θα διευκολύνουν την εμπλοκή τους με τα κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα που σχετίζονται με τη γενετική, ενώ τα ευρήματα της μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση των μεθόδων διδασκαλίας, ενισχύοντας τη γνώση και την κριτική επίγνωση των μαθητών σχετικά με τις επιστήμες της ζωής.

Λέξεις-κλειδιά: γενετική, κληρονομικότητα, εκπαιδευτικές προκλήσεις, παρανοήσεις, βιολογικός εγγραμματισμός, διδακτικές προσεγγίσεις, κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα.

Abstract

This thesis explores the perceptions of Greek students and educators regarding fundamental concepts of genetics and heredity within the educational context. Serving as a literature review, it focuses on the importance of understanding these concepts for enhancing biological literacy. Additionally, it examines major pedagogical challenges that hinder the effective teaching of genetics, such as prevalent misconceptions and cognitive barriers among students. The study concludes that students require comprehensive teaching approaches that foster critical thinking and engagement with socio-scientific issues related to genetics. The findings aim to inform improved teaching methods, enhancing students' knowledge and critical awareness in the life sciences.

Key Words: Genetics, heredity, educational challenges, misconceptions, biological literacy, teaching approaches, socio-scientific issues.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	4
Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1ο- Η θέση της βιολογίας στη διδασκαλία	10
1.1 Τι είναι οι φυσικές επιστήμες	10
1.2 Τι είναι η βιολογία	11
1.3 Η σημασία της διδασκαλίας της βιολογίας στην σύγχρονη εποχή	14
1.4 Σκοπός της διδασκαλίας της βιολογίας	17
1.5 Μεθοδολογίες στη διδασκαλία τη βιολογίας	18
1.5.1 Παραδοσιακές αντιλήψεις	18
1.5.2 Σύγχρονες μεθοδολογίες	20
Κεφάλαιο 2ο- Οι έννοιες της γενετικής και της κληρονομικότητας στην εκπαίδευση	25
2.1 Ορισμοί της γενετικής και της κληρονομικότητας	25
2.2 Ιστορική αναδρομή στη γενετική	28
2.3 Η διδασκαλία της γενετικής	31
2.4 Εργαλεία διδασκαλίας	36
2.5 Μελέτες από εξωτερικό	41
Κεφάλαιο 3 – Αντιλήψεις και στάσεις μαθητών και εκπαιδευτικών για τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας	47
Βιβλιογραφία-Πηγές	57

Εισαγωγή

Ο τομέας της βιολογίας αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο στο οικοδόμημα της επιστημονικής εκπαίδευσης. Σε αυτό το πεδίο, η μετάδοση της γνώσης από τη μια γενιά στην άλλη δεν αποτελεί απλώς μια ακαδημαϊκή αναγκαιότητα, αλλά έναν ζωτικό αγωγό μέσω του οποίου περνάει η εστίαση στην κατανόηση της έρευνας και της κατανόησης. Η μελέτη της βιολογίας, επομένως, δεν αφορά απλώς την καταγραφή των τεράστιων ειδών ή την κατανόηση της βιοχημείας που διέπει τη ζωή, αλλά την καλλιέργεια ενός έμφυτου αισθήματος περιέργειας και σεβασμού για τη ζωή σε όλες τις μορφές της. Η Βιολογία ως ερευνητικός κλάδος της φυσικής επιστήμης θεωρείται ότι ερευνά την επιστήμη της ίδιας της Ζωής (Goodenough et al., 2022). Στον σημερινό ταχέως εξελισσόμενο κόσμο, όπου η βιοποικιλότητα αντιμετωπίζει πρωτοφανείς προκλήσεις και η ίδια η δομή της ζωής βρίσκεται υπό εξέταση λόγω των γενετικών τροποποιήσεων, ο ρόλος της εκπαίδευσης στη βιολογία γίνεται ακόμη πιο καθοριστικός. Μέσα από αυτό το πρίσμα προσεγγίζεται η διδασκαλία της βιολογίας, με στόχο όχι μόνο την εκπαιδευτική ενημερότητα αλλά και την έμπνευση μιας νέας γενιάς στοχαστών και καινοτόμων ερευνητών του φυσικού κόσμου (National Research Council et al., 2009).

Σήμερα η γενετική έχει αναδειχθεί σε άξονα κατανόησης της πολυπλοκότητας της ζωής, αφού η σημασία του θέματος έχει μεγεθυνθεί από τα κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα, όπως η γενετική μηχανική, η βιοτεχνολογία και οι ηθικοί προβληματισμοί σχετικά με τις γενετικές πληροφορίες. Καθώς η ανθρωπότητα βρίσκεται στα πρόθυρα δυνατοτήτων όπως η γονιδιακή επεξεργασία και η εξατομικευμένη ιατρική, η σημασία της εκπαίδευσης στη γενετική για τη διαμόρφωση ενημερωμένων πολιτών δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί (Koculu & Torcu, 2021). Η διδασκαλία της Βιολογίας σήμερα είναι απαραίτητο να εξοπλίζει τους μαθητές με τη γνώση να συμμετέχουν ενεργά και υπεύθυνα στις συζητήσεις και τις αποφάσεις σχετικά με τα κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα που επηρεάζουν τα άτομα και την κοινωνία στο σύνολό της. Έτσι, η γενετική παιδεία είναι ζωτικής σημασίας όχι μόνο για τους επίδοξους επιστήμονες αλλά για όλους τους μαθητές, εξοπλίζοντάς τους με τα εργαλεία για να περιηγηθούν στα ηθικά και δεοντολογικά τοπία του σύγχρονου κόσμου.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια έρευνα σχετικά με τις αντιλήψεις των Ελλήνων μαθητών και εκπαιδευτικών για τη γενετική και την κληρονομικότητα. Ο στόχος της μελέτης αυτής είναι αρχικά να προσφέρει πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση της εκπαίδευσης στη γενετική στην Ελλάδα, ρίχνοντας φως στις παιδαγωγικές προσεγγίσεις και τις εννοιολογικές αντιλήψεις που επικρατούν στις ελληνικές τάξεις. Μια τέτοια έρευνα είναι κρίσιμη για τον εντοπισμό παρανοήσεων και εκπαιδευτικών κενών που μπορεί να εμποδίζουν την κατανόηση και την εκτίμηση της γενετικής από τους μαθητές. Επιπλέον, η κατανόηση αυτών των αντιλήψεων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών διδασκαλίας που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις παρανοήσεις των μαθητών και να ενισχύσουν την κατανόηση της γενετικής και της κληρονομικότητας.

Μέσω της παρούσας έρευνας αναμένεται να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι Έλληνες μαθητές και οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται και εμπλέκονται με κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα που σχετίζονται με τη γενετική, προσφέροντας ένα παράθυρο στην ετοιμότητά τους να συμμετάσχουν σε ενημερωμένες συζητήσεις σχετικά με τις ηθικές, νομικές και κοινωνικές επιπτώσεις των γενετικών εξελίξεων. Τελικά, η μελέτη αυτή μπορεί να συμβάλλει στην παγκόσμια συζήτηση για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες, παρέχοντας πολύτιμες προοπτικές που μπορούν να ενημερώσουν τις διεθνείς προσπάθειες για τη βελτίωση της διδασκαλίας και της μάθησης της γενετικής, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές σε όλο τον κόσμο θα είναι εξοπλισμένοι για να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που παρουσιάζει η γενετική επιστήμη.

Στο πρώτο κεφάλαιο επεξηγείται η θέση της βιολογίας στη διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι έννοιες των φυσικών επιστημών και συγκεκριμένα αναλύεται η έννοια και η σημασία της βιολογίας. Παράλληλα, επισημαίνεται η σημασία της διδασκαλίας της βιολογίας στη σύγχρονη εποχή. Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο σκοπός της διδασκαλίας της βιολογίας και συγκεκριμένες μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία της βιολογίας: στο πλαίσιο αυτό αναφέρονται οι παραδοσιακές αντιλήψεις της διδακτικής της βιολογίας και ορισμένες σύγχρονες προσεγγίσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται διεξοδικά οι έννοιες της γενετικής και της κληρονομικότητας στην εκπαίδευση. Πιο συγκεκριμένα δίνονται ορισμοί γύρω από

τις έννοιες της γενετικής και της κληρονομικότητας, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της έννοιας της γενετικής μέσω της σημαντικής έρευνας του Μέντελ και άλλων σημαντικών ερευνητών. Προσεγγίζεται, επίσης, το θέμα της διδακτικής της γενετικής και παρουσιάζονται συγκεκριμένα εργαλεία διδασκαλίας, τα οποία κρίνονται ως χρήσιμα μέσα για την ενίσχυση του γενετικού εγγραμματισμού των σύγχρονων μαθητών. Τέλος, πραγματοποιείται μια επισκόπηση ερευνών που εστίασαν στους τρόπους και την αποτελεσματικότητα της διδακτικής της γενετικής στο εξωτερικό.

Κεφάλαιο 1^ο- Η θέση της βιολογίας στη διδασκαλία

1.1 Τι είναι οι φυσικές επιστήμες

Οι φυσικές επιστήμες αποτελούν ένα ευρύ γνωστικό πεδίο, εντός του οποίου περιλαμβάνονται διαφορετικά εκπαιδευτικά αντικείμενα. Χαρακτηριστικά παραδοσιακά παραδείγματα αυτών είναι η Χημεία, η Φυσική, η Γεωλογία και η Βιολογία. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολυσύνθετο και δυναμικό πεδίο, το οποίο εμφανίζει συνεχή εξέλιξη. Για τον λόγο αυτό, πλέον στις φυσικές επιστήμες τοποθετούνται και άλλα γνωστικά αντικείμενα, όπως είναι η μετεωρολογία, η σεισμολογία κλπ.

Ως Φυσικές επιστήμες μπορούν να χαρακτηριστούν οι απόπειρες του ανθρώπου να κατανοήσει την πραγματικότητα την οποία βιώνει και παράλληλα αφορούν το σύνολο των γνώσεων που έχει αποκτηθεί από τις απόπειρες αυτές. Οι φυσικές επιστήμες δεν αποτελούν μία μεμονωμένη μέθοδο ή ακόμα και ένα σύνολο γνώσης, αν και οι ορισμοί αυτοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Οι φυσικές επιστήμες αποτελούν ουσιαστικά έναν συγκεκριμένο τρόπο συμπεριφοράς, και μπορούν να χαρακτηριστούν και ως η διάθεση του ατόμου να διαπραγματεύεται τα ίδια τα γεγονότα, και να μην ασχολείται απλά με το τι έχει ειπωθεί για εκείνα. Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη των φυσικών επιστημών δεν γίνεται απλά με την απομνημόνευση⁶⁵ δεδομένων, αλλά με την πραγματοποίηση και την επαλήθευση παρατήρησης, οι οποίες έχουν προέλθει από την επιστημονική διεργασία (Κόκκοτας, 1998).

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση για τις φυσικές επιστήμες παρέχουν οι Moon & Blackman (2014), οι οποίοι ανέφεραν μια σαφή σύνδεση μεταξύ των φυσικών και των κοινωνικών επιστημών. Όπως επισημαίνουν, η εξέλιξη της διατήρησης της βιοποικιλότητας από την εστίαση κυρίως στις φυσικές επιστήμες σε μια διεπιστημονική προσέγγιση σήμερα ενσωματώνει όλο και περισσότερο τις κοινωνικές επιστήμες. Επισημαίνεται επίσης η αναγνώριση από τους φυσικούς επιστήμονες ότι οι κοινωνικοί, πολιτικοί, οικονομικοί και θεσμικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση της βιοποικιλότητας. Αυτή η στροφή προς μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση υπογραμμίζει την ανάγκη να εμπλακούν οι φυσικοί

επιστήμονες με μεθοδολογίες και εφαρμογές κοινωνικής έρευνας για την πλήρη κατανόηση και αντιμετώπιση των προκλήσεων της διατήρησης.

Πάντως, η έρευνα κατέχει θεμελιώδη ρόλο στο πλαίσιο της ενδελεχούς κατανόησης των φυσικών επιστημών υπό το πρίσμα των φιλοσοφικών βάσεων και των θεωρητικών παραδοχών που ενυπάρχουν τόσο στις φυσικές όσο και στις κοινωνικές επιστήμες. Μάλιστα, οι φυσικοί επιστήμονες συχνά λειτουργούν με την υπόθεση ότι τα παρατηρήσιμα πρότυπα σε επίπεδο πληθυσμού μπορούν να γενικευτούν από δείγματα, υπό την προϋπόθεση ότι αυτά είναι αντιπροσωπευτικά και πληρούν ορισμένες αναλυτικές υποθέσεις. Οι Moon & Blackman (2014) υποστηρίζουν ότι για να έχει η έρευνα πραγματικά αντίκτυπο και για να ερμηνεύονται και να εφαρμόζονται με ακρίβεια τα ευρήματά της, οι επιστήμονες πρέπει να έχουν βαθιά κατανόηση όχι μόνο των επιστημονικών αρχών και μεθόδων που διέπουν το έργο τους, αλλά και των ευρύτερων φιλοσοφικών, κοινωνικών και ηθικών πλαισίων που επηρεάζουν τα ερευνητικά ερωτήματα και τις προσεγγίσεις τους. Η προσέγγιση αυτή αναγνωρίζει ότι οι περιβαλλοντικές προκλήσεις και οι προκλήσεις διατήρησης είναι πολύπλοκες και συνυφασμένες με τις ανθρώπινες κοινωνικές δομές, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνεργασία μεταξύ των επιστημονικών κλάδων. Υποδηλώνεται, λοιπόν, ότι το μέλλον της βιολογίας και των φυσικών επιστημών έγκειται στην ικανότητα των επιστημόνων να ενσωματώνουν τη γνώση σε αυτούς τους διαφορετικούς τομείς, αναγνωρίζοντας το ρόλο των ανθρώπινων αξιών, συμπεριφορών και κοινωνικών δομών στη διαμόρφωση του φυσικού κόσμου. Έτσι, είναι αναγκαία μια στροφή από την αμιγώς εμπειρική και αναγωγιστική επιστήμη προς πιο περιεκτικές, ολιστικές και με επίγνωση του πλαισίου ερευνητικές πρακτικές.

1.2 Τι είναι η βιολογία

Η βιολογία είναι μια φυσική επιστήμη που μελετά τα έμβια όντα και την ίδια τη ζωή. Πολλοί εξειδικευμένοι κλάδοι που διερευνούν τη δομή, τη λειτουργία, την ανάπτυξη, την κατανομή, την εξέλιξη ή άλλα χαρακτηριστικά των έμβιων όντων συνθέτουν το μεγάλο και ποικίλο πεδίο της σύγχρονης βιολογίας. Παρά το γεγονός ότι είναι ένας σχετικά νέος τομέας μελέτης, οι κλάδοι που συνδέονται και αποτελούν τη σύγχρονη βιολογία μελετώνται από την αρχαιότητα. Οι αρχαίοι πολιτισμοί της

Μεσοποταμίας, της Αιγύπτου, της ινδικής υποηπείρου και της Κίνας ήταν από τους πρώτους που μελέτησαν τη φυσική φιλοσοφία (Lawson, 2021). Αλλά στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η σύγχρονη βιολογία και η μεθοδολογία της για τη μελέτη της φύσης ανάγονται στην αρχαία Ελλάδα (Grigoriadou et al., 2021). Τα επιστημονικά μοντέλα, τα οποία γεφυρώνουν θεωρητικά πλαίσια και φαινόμενα του πραγματικού κόσμου, έχουν ιστορικά εξελιχθεί μέσω της εμβάθυνσης της κατανόησης της ομοιότητας. Από τη ρεαλιστική χρήση της ομοιότητας από τους αρχαίους Αιγυπτίους για αρχιτεκτονικές και φαρμακευτικές εξελίξεις, μέσω της φιλοσοφικής ενασχόλησης της κλασικής εποχής με την έννοια, μέχρι την Αναγέννηση και πέρα από αυτήν, όπου η ομοιότητα εφαρμόστηκε αυστηρά ως πειραματικό εργαλείο, η μελέτη παρακολουθεί ένα ταξίδι κλιμακούμενης πολυπλοκότητας και τελειοποίησης. Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι και επιστήμονες, όπως ο Θαλής της Μιλήτου, ο Ευκλείδης και ο Αριστοτέλης ήταν από τους πρώτους που συζήτησαν την έννοια της ομοιότητας.

Σύμφωνα με τον Αθανασίου (2015), η βιολογία χαρακτηρίζεται από μια ιδιαίτερη φύση ως επιστήμη, καθώς διαθέτει μια μοναδική εστίαση στους ζωντανούς οργανισμούς και στην ιστορική εξέλιξη που είναι εγγενής στα βιολογικά συστήματα. Αντιπαραβάλλοντας τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις της βιολογίας με εκείνες της φυσικής και της χημείας, ο Αθανασίου (2015) τονίζει τον τρόπο με τον οποίο τα χαρακτηριστικά των ζωντανών συστημάτων -όπως η γενετική κληρονομικότητα, η ιεραρχική δομή, οι αναδυόμενες ιδιότητες και η μοναδικότητα των οργανισμών- απαιτούν μια διαφορετική επιστημονική προοπτική. Αξίζει στο σημείο αυτό να συζητηθεί η συμβολή του Ernst Mayr, ο οποίος τάσσεται υπέρ μιας φιλοσοφίας της βιολογίας που αναγνωρίζει αυτές τις διαφορές.

Ο Ernst Mayr διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της σύγχρονης βιολογίας, καθώς ήταν ο κορυφαίος αρχιτέκτονας της σύγχρονης σύνθεσης, η οποία γεφύρωσε το χάσμα μεταξύ των κλάδων της γενετικής, της συστηματικής και της παλαιοντολογίας, ώστε να παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη της εξέλιξης. Το έργο του προώθησε σημαντικά την κατανόηση των εννοιών των ειδών, της εξειδίκευσης και της εξελικτικής βιολογίας. Ο Mayr έδωσε έμφαση στη σημασία των φυσικών πληθυσμών, της γεωγραφικής κατανομής και του ρόλου της αναπαραγωγικής απομόνωσης στην εξελικτική διαδικασία. Η συμβολή του επεκτάθηκε πέρα από την εξελικτική βιολογία και στη φιλοσοφία της βιολογίας, όπου τάχθηκε υπέρ της

αναγνώρισης της βιολογίας ως επιστήμης διακριτής από τις φυσικές επιστήμες, με τις δικές της μεθοδολογίες και αρχές (Sommer & Mayer, 2015).

Στη σύγχρονη επιστήμη της βιολογίας, έννοιες όπως ο βιταλισμός και η ορθογένεση θεωρούνται παρωχημένες, καθώς υποστηρίζεται ότι σε αντίθεση με το περιεχόμενο των εννοιών αυτών η πολυπλοκότητα και το ιστορικό πλαίσιο των βιολογικών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της ζωής. Στην ιδιαίτερη επιστήμη της βιολογίας σήμερα δίνεται έμφαση στην ιεραρχική οργάνωση της ζωής, στη σημασία της γενετικής παραλλαγής και στη σημασία της ιστορίας στη βιολογική εξέλιξη. Έτσι, η βιολογία παρουσιάζεται ως μια επιστήμη που ενσωματώνει τα ιστορικά γεγονότα με τη μελέτη των οργανισμών. Ο Αθανασίου (2015) υποστηρίζει μια πιο διαφοροποιημένη κατανόηση της βιολογικής έρευνας, τονίζοντας την ανάγκη για μια προσαρμοσμένη προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη της τα μοναδικά χαρακτηριστικά των ζωντανών συστημάτων.

Στη μελέτη του Woese (2004), όπου αντανakλάται η πορεία της βιολογίας από τον 19ο αιώνα έως σήμερα, υποδηλώνεται ότι ενώ ο 19ος αιώνας καθιέρωσε τα θεμελιώδη προβλήματα της βιολογίας, επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από μια αναγωγιστική κοσμοθεωρία εμπνευσμένη από την κλασική φυσική. Αυτός ο αναγωγισμός, που επικεντρώθηκε στην ανάλυση των βιολογικών φαινομένων στα μικρότερα μέρη τους, κυριάρχησε στη βιολογία, ιδίως καθώς η χημεία και η φυσική άρχισαν να ενσωματώνονται στη βιολογική έρευνα, φέρνοντας τεχνολογικές προόδους, αλλά και οδηγώντας σε μια προοπτική ότι η βιολογία ήταν απλώς μια προέκταση αυτών των πεδίων. Ως αποτέλεσμα, η βιολογία κινδύνευσε να μετατραπεί σε κλάδο της μηχανικής και όχι σε θεμελιώδη επιστήμη. Στη μελέτη του ο Woese (2004) τάσσεται υπέρ της απομάκρυνσης από τον αναγωγισμό προς μια ολιστική κατανόηση της βιολογίας, δίνοντας έμφαση στην εξέλιξη και τη βιολογική μορφή. Υποστηρίζει την αναγνώριση της βιολογίας όχι ως εφαρμοσμένης επιστήμης υποδεέστερης της φυσικής και της χημείας, αλλά ως ενός πεδίου εξίσου θεμελιώδους, ικανού να παρέχει μοναδικές γνώσεις για τον έμβιο κόσμο. Αυτή η ολιστική προσέγγιση θεωρείται απαραίτητη για να ζει η κοινωνία σε αρμονία με τη φύση, προτείνοντας μια αμοιβαία σχέση μεταξύ βιολογίας και φυσικής που εμπλουτίζει την κατανόηση του κόσμου.

1.3 Η σημασία της διδασκαλίας της βιολογίας στην σύγχρονη εποχή

Στην σύγχρονη εποχή έχουν παρατηρηθεί δυο συγκλίνουσες κρίσεις. Η μία από αυτές είναι η πολύ γρήγορη επιδείνωση της υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος. Η άλλη είναι η ιδιαίτερα εμφανής έλλειψη παιδείας, η οποία με την σειρά της γίνεται πιο σημαντική εξαιτίας του γεγονότος ότι η Βιολογία έχει άμεση επίδραση στον τρόπο ζωής του γενικότερου πληθυσμού. Οι επιστήμες, οι οποίες αποτελούν μέρος της οικογένειας των βιολογικών επιστημών (Ιατρική, Βιοτεχνολογία, Γεωπονία) αφορούν ένα μεγάλο μέρος της ζωής του ανθρώπου και σχετίζονται με το σύνολο των επιπέδων της προσωπικής και κοινωνικής ζωής των ανθρώπων, είτε αυτό είναι το ίδιο το ανθρώπινο σώμα, η κοινωνία ή ακόμα και ολόκληρη η βιόσφαιρα. Οι επιστήμες αυτές οδηγούν σε μετασχηματισμό του προσωπικού, κοινωνικού και φυσικού περιβάλλον των ανθρώπων και προβάλλουν ισχυρισμούς ακόμη και την ίδια την ύπαρξη του ανθρώπου, για τους τρόπους που αλλάζουν τις πιο βαθιές πλευρές της προσωπικότητάς των ανθρώπων και μπορεί να θεωρηθεί πως επηρεάζουν ακόμη και το ποιος είναι ο σκοπός των ανθρώπων πάνω στη Γη (Μπόμπολα και συν, 2008).

Ακόμα και με έμμεσο τρόπο, η βιολογία ως επιστήμη σχετίζεται με τα κοινωνικά θέματα που αφορούν την κοινωνία της σύγχρονης εποχής. Μέσα από την έρευνα και μελέτη της βιολογίας, οι μελετητές μπορούν να αντλήσουν πληροφορίας, εκτός από την κλιματική κρίση και για άλλα σοβαρά κοινωνικά ζητήματα, όπως είναι οι συζητήσεις που γίνονται για τον φυλετικό προσανατολισμό, την ταυτότητα φύλου, τις τάξεις, τον εθνικό προσδιορισμό, την παροχή και κατεύθυνση της υγείας, την παραγωγή τροφής, την εκβιομηχάνιση, τον τρόπο που χρησιμοποιείται η γη, το πως ελέγχονται οι γεννήσεις, τη νομοθεσία και την εκπαίδευση. Οι περισσότερες από τις συζητήσεις αυτές δεν είναι απαραίτητο πως πρέπει να βασίζονται στην βιολογία, ωστόσο η καθημερινή πρακτική δείχνει πως αυτό είναι η πραγματικότητα (Μπόμπολα και συν, 2008).

Μπορεί να ειπωθεί λοιπόν, πως η γνώση των ζητημάτων της Βιολογίας είναι πλέον ένα απαραίτητο στοιχείο για τον επιστημονικό και όχι μόνο λόγο, καθώς η Βιολογία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δόμηση των κοινωνικών επιχειρημάτων. Ακόμα, η γνώση και η κατανόηση της λειτουργίας των βιολογικών συστημάτων, σε όλα τα επίπεδα οργάνωσης τους, είναι ιδιαίτερα και απόλυτα σημαντική, επειδή οι αποφάσεις

που λαμβάνονται και οι απόψεις που δημιουργούνται προέρχονται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των γνώσεων και αξιών, και από το γεγονός πως οι στάσεις δεν δημιουργούνται μόνο από τις αξίες, αλλά και από την κατανόηση της επιστημονικής γνώσης (Μπόμπολα και συν, 2008).

Η αντιστροφή της προαναφερόμενης περιβαλλοντικής δηλαδή, εξαρτάται σε σημαντικό παράγοντα από την αντιμετώπιση της έλλειψης βιολογικής γνώσης. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην αντιστροφή αυτή φαίνεται ότι μπορεί να διαδραματίσει η κατανόηση των διαφόρων βιολογικών και όχι μόνο διεργασιών, οι οποίες συμβαίνουν στη βίοςφαιρα. Η κατανόηση αυτών είναι ζωτικής σημασίας για την διενέργεια στρατηγικών αντιμετώπισης της κρίσης αυτής (Μπόμπολα και συν, 2008).

Για τον λόγο αυτό, φαίνεται πως η Βιολογία είναι αναγκαίο να αποτελεί κεντρικό αντικείμενο στην εκπαιδευτική διαδικασία, καθώς συμβάλλει όχι μόνο στην προετοιμασία των βιοεπιστημόνων του μέλλοντος, αλλά και στην πιο κατάλληλη προετοιμασία του πολίτη γενικότερα. Το γεγονός αυτό είναι απαραίτητη υποχρέωση των κατά τόπου εκπαιδευτηρίων διαφορετικών βαθμίδων σε ολόκληρο τον πλανήτη (Μπόμπολα και συν, 2008).

Σύμφωνα με τον Kloser (2012), όσον αφορά τη διδασκαλία της βιολογίας στο εκπαιδευτικό σύστημα, κρίνεται πως διαδραματίζει μείζονα ρόλο η ενσωμάτωση της φύσης της βιολογίας στην εκπαίδευση της βιολογίας, αναγνωρίζοντας ότι η βιολογία, ως μελέτη των ζωντανών οργανισμών, λειτουργεί βάσει μοναδικών αρχών σε σύγκριση με τις φυσικές επιστήμες. Υπογραμμίζεται μάλιστα η αναγκαιότητα της διερεύνησης των ξεχωριστών φιλοσοφικών, μεθοδολογικών και ηθικών διαστάσεων της βιολογίας στην εκπαίδευση, ώστε να παρέχεται μια ολοκληρωμένη κατανόηση του επιστημονικού πεδίου. Συζητώντας έννοιες όπως ο ουσιοκρατισμός, ο ντετερμινισμός και η ηθική, ο Kloser (2012) προτείνει ότι αυτά τα φιλοσοφικά θεμέλια επηρεάζουν σημαντικά τη διδασκαλία και τη μάθηση της βιολογίας και υποστηρίζει τη χρήση ποικίλων εκπαιδευτικών υλικών και προσεγγίσεων που αντικατοπτρίζουν την πολυπλοκότητα και την αμφισβητούμενη φύση της βιολογικής επιστήμης, υπερβαίνοντας τα παραδοσιακά εγχειρίδια και συμπεριλαμβάνοντας διάφορες προοπτικές που αποτυπώνουν τη δυναμική φύση της επιστήμης. Όπως αναφέρει, μια βαθύτερη ενασχόληση με τη φύση της βιολογίας σε εκπαιδευτικά πλαίσια μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση των βιολογικών εννοιών από τους μαθητές, την εφαρμογή

τους σε πραγματικές καταστάσεις και τις ηθικές επιπτώσεις της βιολογικής έρευνας. Ο απώτερος στόχος λοιπόν της διδασκαλίας της βιολογίας στη μοντέρνα εποχή είναι να εφοδιάσει τους μαθητές με μια διαφοροποιημένη άποψη της βιολογίας που αναγνωρίζει τα μοναδικά χαρακτηριστικά της και τις ηθικές εκτιμήσεις της, προωθώντας έτσι μια πιο τεκμηριωμένη και κριτική ενασχόληση με το αντικείμενο και το ρόλο του στην αντιμετώπιση των σύγχρονων επιστημονικών και κοινωνικών ζητημάτων.

Εξετάζοντας την εξέλιξη και την τρέχουσα κατάσταση των μεθοδολογιών διδασκαλίας της βιολογίας, φαίνεται πως δίνεται έμφαση στον διεπιστημονικό χαρακτήρα της βιολογίας και τη σύνδεσή της με άλλα επιστημονικά και φιλοσοφικά πεδία. Στη βιβλιογραφία επισημαίνεται η σημασία της ενσωμάτωσης διαφόρων μεθόδων διδασκαλίας και παιδαγωγικών καινοτομιών στην εκπαίδευση της βιολογίας, συμπεριλαμβανομένων των ενεργητικών και διαδραστικών προσεγγίσεων μάθησης που εξυπηρετούν την ανάπτυξη της κριτικής και δημιουργικής σκέψης των μαθητών. Για τη αποτελεσματική διδασκαλία της βιολογίας σήμερα υπογραμμίζεται η σημασία της μεταρρύθμισης του προγράμματος σπουδών για την ενσωμάτωση διαδραστικών μεθόδων διδασκαλίας, διασφαλίζοντας ότι η εκπαίδευση στη βιολογία όχι μόνο μεταδίδει θεμελιώδεις βιολογικές γνώσεις αλλά και προετοιμάζει τους μαθητές για τις πολυπλοκότητες της σύγχρονης ζωής και τις κοινωνικές προκλήσεις. Επίσης, η αποτελεσματική διδασκαλία της βιολογίας απαιτεί βαθιά κατανόηση του αντικειμένου, ικανότητα ενεργού εμπλοκής των μαθητών και ενσωμάτωση της πληροφορικής τεχνολογίας για τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω υπάρχει αυξημένη ανάγκη για συνεχή επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών ώστε να υιοθετήσουν προηγμένες τεχνολογίες και μεθόδους διδασκαλίας, διασφαλίζοντας ότι η εκπαίδευση στη βιολογία ανταποκρίνεται στα εξελισσόμενα εκπαιδευτικά πρότυπα και τις κοινωνικές ανάγκες (Jafarova, 2019).

1.4 Σκοπός της διδασκαλίας της βιολογίας

Σύμφωνα και με το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, ο σκοπός της διδασκαλίας της Βιολογίας στην εκπαίδευση είναι η ολοκλήρωση της προσωπικότητας του μαθητή. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαφορετικών μεθόδων, όπως της ανάπτυξης κριτικού πνεύματος, της ανάπτυξης ανεξάρτητης σκέψης, της πρόκλησης διάθεσης για

ενεργοποίηση και για δημιουργία τόσο σε επίπεδο ατόμου, όσο και σε συλλογικού επιπέδου. Επιπλέον, ο νεαρός μαθητής θα πρέπει να αναπτύσσει υψηλό αίσθημα σεβασμού για τη ζωή, τους ζωντανούς οργανισμούς, και το περιβάλλον. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να αναπτύσσεται η ικανότητα του ατόμου να αναγνωρίζει πως ενοποιείται και συνεχίζεται η γνώση στο πλαίσιο των Βιολογικών Επιστημών και του δίνεται η δυνατότητα να μπορεί να αξιοποιεί όσες γνώσεις και τις δεξιότητες έχει αποκτήσει, έτσι ώστε να είναι σε θέση να ερμηνεύει φαινόμενα ή καταστάσεις που σχετίζονται με τον εαυτό του ή το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, να αξιολογεί δεδομένα, να βρίσκει τα αίτια πιθανών προβλημάτων και να είναι σε θέση να δώσει τις κατάλληλες λύσεις σύμφωνα με την προσωπική του άποψη¹.

Ως αντικείμενο διδασκαλίας, η Βιολογία μπορεί να διαχωριστεί το σύνολο των Φυσικών επιστημών για διαφορετικούς ρόλους. Από μεθοδολογικής άποψης, η παρατήρηση και η πραγματοποίηση απλών αλλά με ακρίβεια πειραμάτων αποτελούν τα πιο σημαντικά εργαλεία, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση των δομών και των αρχών λειτουργίας των οργανισμών, με αποτέλεσμα να δίνεται στους μαθητές η δυνατότητα να μυηθούν στις αρχές στις οποίες βασίζεται η επιστημονική μέθοδος. Ο μαθητής έρχεται αντιμέτωπος με ερωτήματα σχετικά με τη ζωή στη Γη γενικά, ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης προβληματισμού σχετικά με τη σχέση μεταξύ της βιολογίας και των διαφόρων τομέων του κοινωνικού περιβάλλοντος, καθώς και της κριτικής εξέτασης των εφαρμογών της και της συμβολής της στις προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Αυτό ανοίγει τρόπους σκέψης ως υπεύθυνος και συμμετοχικός πολίτης (Αθανασίου, 2015). Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να δουν την εξέλιξη των δομικών χαρακτηριστικών των οργανισμών και των διαδικασιών της ζωής, καθώς εξετάζονται οι λειτουργίες της ζωής σε μια σειρά αντιπροσωπευτικών πλασμάτων, από τους πιο βασικούς μονοκύτταρους οργανισμούς μέχρι τα πιο εξελιγμένα ανθρώπινα όντα. Η μελέτη περιλαμβάνει στοιχεία που επηρεάζουν τη λειτουργία των οργανικών συστημάτων, δηλαδή σε ανθρώπινο επίπεδο. Συνεπώς, ο μαθητής αποκτά συνείδηση και ευαισθησία στους τρόπους με τους οποίους τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν την υγεία του (Torday & Rehan, 2017).

Η σχέση μεταξύ της κατανομής των πληθυσμών και της ικανότητας προσαρμογής ενός οργανισμού σε συγκεκριμένες συνθήκες, οι τροφικές σχέσεις, τα ανταγωνιστικά

¹ Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Πλαίσιο Σπουδών, http://www.pi-schools.gr/content/index.php?lesson_id=24&ep=343

φαινόμενα και τα στοιχεία που εισέρχονται και επηρεάζουν τη λειτουργία του οικοσυστήματος αποτελούν σημαντικά στοιχεία κατά την έρευνα περιβαλλοντικών ζητημάτων (Hooper et al., 2005). Ταυτόχρονα, λοιπόν, στόχος είναι να αυξηθεί η συνείδηση των μαθητών σχετικά με τις επιπτώσεις της υπερβολικής χρήσης των φυσικών πόρων και του σύγχρονου μοντέλου ζωής στην προσωπική τους ευημερία, στο περιβάλλον και σε άλλα έμβια όντα. Οι μαθητές θα διδαχθούν μέσω της βιολογίας την περιβαλλοντική υπευθυνότητα και θα υιοθετήσουν φιλικές προς το περιβάλλον στάσεις και συμπεριφορές μέσω αυτού του προβληματισμού. Έτσι, η βιολογία παράλληλα με άλλα αντικείμενα και δραστηριότητες, όπως οι περιβαλλοντικές δράσεις, η οικολογία και οι κοινωνικές επιστήμες, μπορεί να αποτελέσει σοβαρό μέρος της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης (Sharma et al., 2023).

Τελικά, οι μαθητές θα μπορούν να προετοιμαστούν για το ρόλο των αυριανών “ενεργών πολιτών” μελετώντας συγκεκριμένα θέματα γενετικής, εξέλιξης, μοριακής βιολογίας και βιοτεχνολογίας. Αυτή η εστίαση όχι μόνο θα επιτρέψει στο μαθητικό δυναμικό να αποκτήσει γνώσεις και δεξιότητες που θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη μιας δημιουργικής και ολοκληρωμένης προσωπικότητας, αλλά θα επιτρέψει επίσης τον περαιτέρω προβληματισμό πάνω σε θέματα σύγχρονου ενδιαφέροντος (Rögele, 2023).

1.5 Μεθοδολογίες στη διδασκαλία τη βιολογίας

1.5.1 Παραδοσιακές αντιλήψεις

Τα επιστημονικά προγράμματα σπουδών και οι μέθοδοι έχουν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από το γεγονός ότι η δευτεροβάθμια επιστημονική εκπαίδευση σχεδιάστηκε με γνώμονα τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές των πανεπιστημίων. Σε πολλά σχολεία, ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες, τα προγράμματα σπουδών δημιουργήθηκαν μόνο για να προετοιμάσουν τους μαθητές για τις εξετάσεις εισαγωγής στα πανεπιστήμια. Τα μαθήματα φυσικών επιστημών θεωρούνται μερικές φορές ως εισαγωγή στη μελέτη των φυσικών επιστημών σε πανεπιστημιακό επίπεδο (Κοντογιαννοπούλου-Πολυδωρίδη και συν., 2000).

Η δευτεροβάθμια εκπαίδευση ακολουθεί την ίδια συμβατική διδακτική μεθοδολογία με τα πανεπιστημιακά μαθήματα, η οποία αποτελείται από διαλέξεις, σημειώσεις και εργαστηριακές ασκήσεις. Η κύρια διαφορά είναι ότι η δευτεροβάθμια εκπαίδευση σε πολλά έθνη παραμελεί το εργαστήριο, ακόμη περισσότερο από την τριτοβάθμια εκπαίδευση. Οι εκπαιδευτικοί της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης συχνά θαυμάζουν τους πανεπιστημιακούς καθηγητές τους ως πρότυπα. Για πολλούς μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σήμερα, αυτό το είδος επιστημονικής διδασκαλίας είναι εντελώς λάθος.

Με δεδομένο ότι η δευτεροβάθμια εκπαίδευση παραδοσιακά θεωρούνταν κατά αποκλειστικότητα ο προθάλαμος για την εισαγωγή στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, τα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών αποτελούσαν ουσιαστικά έναν εκλεκτικό μηχανισμό. Έτσι, βασικές πτυχές της επιστήμης, συμπεριλαμβανομένης της ίδιας της ερευνητικής της τεχνικής, αγνοήθηκαν υπέρ στρατηγικών διδασκαλίας που έδιναν προτεραιότητα στην απομνημόνευση φυσικών γεγονότων, εννοιών και νόμων και χρησιμοποιούσαν κουίζ σύντομων απαντήσεων για την αξιολόγηση της κατανόησης των μαθητών.

Στην παρούσα εποχή, πολλοί εκπαιδευτικοί, ιδίως στα λύκεια, παραδέχονται ελεύθερα ότι το να βοηθούν τους μαθητές να περνούν τις εξετάσεις είναι ο πρωταρχικός

τους στόχους. Αν θεωρούν ότι οι εξετάσεις αξιολογούν μόνο γνωστικές δεξιότητες χαμηλού επιπέδου (όπως η απομνημόνευση ορισμών, γεγονότων και νόμων), τότε η διδασκαλία τους θα συνίσταται μόνο στη μετάδοση περισσότερων γνώσεων στο μαθητή με την ελπίδα ότι κάποια μέρα θα κολλήσουν κάποιες από αυτές.

1.5.2 Σύγχρονες μεθοδολογίες

Όπως ήδη επισημάνθηκε, η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών θέτει ως προτεραιότητά της την απόκτηση από τον μαθητικό πληθυσμό των απαιτούμενων γνώσεων καθώς επίσης και των κατάλληλων δεξιοτήτων για την ερμηνεία του φυσικού κόσμου. Το ενδιαφέρον τους εστιάζεται στην ανάπτυξη επιστημονικών και κοινωνικών αξιών, στην ερμηνεία με επιστημονικό και κριτικό τρόπο και με επιχειρήματά των διαφόρων ερευνητικών ερωτημάτων (Μοσχογιάννη κ.α, 2023).

Οι συγκεκριμένοι στόχοι εντοπίζονται διαχρονικά στα προγράμματα σπουδών για τη διδασκαλία των μαθημάτων Φυσικών Επιστημών στην Α/θμια και στην Β / βάρθμια εκπαίδευση. Με τον τρόπο αυτό θεωρείται ότι στη διδασκαλία των συγκεκριμένων αντικειμένων είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση στοιχείων της ιστορίας της επιστήμης και της σταδιακής κατανόησης της ανάπτυξης της. Στο πλαίσιο αυτό είναι σαφές ότι οι Φυσικές Επιστήμες μπορούν να προσεγγιστούν ως ένα γνωστικό σύστημα αντίληψης και παράλληλα κατανόησης του φυσικού κόσμου, του οποίου η ανάπτυξη έχει πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένα πολιτισμικά πλαίσια. Ιδιαίτερη αναφορά, όμως, γίνεται στη Βιολογία, στην οποία είναι σαφής ο περιορισμένος βιολογικός εγγραμματοςμός (Μοσχογιάννη κ.α, 2023).

Σε σχετικές έρευνες επισημαίνεται ότι ο μαθητικός πληθυσμός τα τελευταία χρόνια δυσκολεύεται να κατανοήσει τον τρόπο υλοποίησης των διαφόρων μοριακών διεργασιών, όταν η διδασκαλία αξιοποιεί τη μετωπική μέθοδο και δεν εφαρμόζει άλλες παιδαγωγικές εφαρμογές. Παράλληλα, θεωρείται σημαντική η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων και πόρων με στόχο την κατανόηση των πειραμάτων και των εργαστηριακών τεχνικών και κατά συνέπεια την κατανόηση όλων των διαδικασιών που σχετίζονται με τα συγκεκριμένα θέματα. Πέρα από αυτά υποστηρίζεται ότι η προσπάθεια να κατασκευαστούν μοντέλα στις αίθουσες διδασκαλίας ως διδακτικά εργαλεία μπορεί να διευκολύνει τη μετατροπή της εμπειρίας του μαθητικού πληθυσμού από στατική σε δυναμική. Επίσης, οι εμπειρία των μαθητών / τριών μπορεί να

μετατραπεί από από επίπεδη σε τρισδιάστατη, με αποτέλεσμα να μπορούν να αποκτήσουν ουσιαστικό και ενεργό ρόλο στην εκπαιδευτική και μαθησιακή διαδικασία (Φωτιάδου & Μιχαλάτου, 2023).

Με βάση αυτά τα στοιχεία μπορεί να κατανοηθεί το γιατί μέσα στις σχολικές τάξεις σε καθημερινό επίπεδο αναδεικνύεται η ανάγκη συνέχισης του διαλόγου για τη Βιολογία στον χώρο της εκπαίδευσης. Εξαιτίας της μετάβασης στις διερευνητικές και ανακαλυπτικές πρακτικές, έχει μεταβληθεί και η μορφή της εκπαιδευτικής διαδικασίας, δίνοντας έμφαση στην ενίσχυση του ομαδοσυνεργατικού και μαθητοκεντρικού χαρακτήρα. Επιπλέον κύρια χαρακτηριστικά της διδασκαλίας της Βιολογίας μπορούν να θεωρηθούν τα εξής (Πολύζος & Παπαδέλη, 2023) :

- σύνδεση με την καθημερινότητα και τις ανάγκες του πολίτη
- μύηση στις επιστημονικές διαδικασίες
- εναλλακτικές μορφές μάθησης
- διαδικασίες διερεύνησης και μάθησης επιστημονικών μοντέλων

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά αναπτύσσονται μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον γεμάτο ερεθίσματα για τη διδασκαλία του συγκεκριμένου γνωστικού αντικειμένου

Για τον λόγο αυτό στον σύγχρονο τρόπο της διδακτικής προσέγγισης των μαθημάτων των Φυσικών Επιστημών και, κυρίως, της Βιολογίας, προάγεται η αξιοποίηση εναλλακτικών μεθόδων και ιδίως μεθόδων που συνδυάζονται με την αντικατάσταση της παραδοσιακής μεθόδου με ψηφιακές προσομοιώσεις.

Τα τελευταία χρόνια, έχει υπάρξει, λοιπόν, μια αξιοσημείωτη μετατόπιση στην εστίαση των μαθησιακών στόχων και τεχνικών από τις παραδοσιακές, μαθητοκεντρικές μεθόδους που επέδειξαν χαμηλή εμπλοκή των μαθητών σε πιο διαδραστικές, μαθητοκεντρικές μεθόδους που επέδειξαν υψηλή εμπλοκή των μαθητών και είχαν θετικό αντίκτυπο στις γνώσεις, τη στάση και τις ψυχοκινητικές δεξιότητες των μαθητών (Elkhidir, 2020).

Ανταποκρινόμενα στα αιτήματα για μεταρρυθμίσεις με σκοπό την ενίσχυση των παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας - οι οποίες καθορίζονται από τη διανομή πληροφοριών από τον καθηγητή και βασίζονται στην παθητική ακρόαση των φοιτητών - τα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης έχουν υιοθετήσει τελευταία τακτικές

διδασκαλίας με επίκεντρο τον φοιτητή. Αυτές οι τακτικές θα κυμαίνονταν από μέτρια έως έντονα μαθητοκεντρικές μεθόδους που περιλαμβάνουν διάφορες παιδαγωγικές μεθόδους ενεργητικής μάθησης, όπως οι συνεργατικές ομάδες μάθησης και η τακτική διαμορφωτική αξιολόγηση. Όταν χρησιμοποιήθηκαν ολοκληρωμένες μαθητοκεντρικές διδακτικές πρακτικές, οι βαθμοί των φοιτητών βιολογίας βελτιώθηκαν δραματικά και οι απόψεις τους για τη βιολογία και την εκπαίδευση στη βιολογία βελτιώθηκαν (Connell et al., 2016).

Μέσω του παιχνιδιού ρόλων, οι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν σενάρια του πραγματικού κόσμου και να αποκτήσουν εμπειρία, συμμετέχοντας με τους συμμαθητές τους στην τάξη. Αυτό τους επιτρέπει να δοκιμάσουν διάφορες τακτικές και να ενισχύσουν το μαθησιακό τους στυλ (Elkhidir, 2020).

Για να απεικονιστεί πώς οι βιολογικές διαδικασίες είναι διαδραστικές στην πραγματική ζωή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια παρόμοια προσέγγιση στη μελέτη διαφόρων κυττάρων, ιστών, οργάνων και οργανικών συστημάτων (Elkhidir, 2020).

Στη μελέτη της μίτωσης και της πρωτεϊνοσύνθεσης παρατηρήθηκαν αναπαραγωγίμες εφαρμογές, οι οποίες βελτίωσαν την κατανόηση των θεμελιωδών ιδεών από τους μαθητές. Οι τεχνικές αυτές θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση άλλων βιολογικών αρχών και διαδικασιών. Οι στρατηγικές ενεργητικής μάθησης βελτίωσαν την κατανόηση της ύλης του μαθήματος της γενετικής από τους μαθητές. Η συγκεντρωτική μάθηση των μαθητών και η δημιουργία τεχνικών διδασκαλίας βαθύτερης μάθησης τους βοηθούν να διατηρήσουν τις θεμελιώδεις ιδέες και να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση των περίπλοκων βιολογικών σχέσεων και διαδικασιών (Elkhidir, 2020).

Μια πρόσφατη καινοτομία στην επιστημονική εκπαίδευση, ιδίως στις βιολογικές επιστήμες, είναι η συνεργατική μάθηση, κατά την οποία μαθητές και καθηγητές συνεργάζονται κυρίως ως διαμεσολαβητές για τη διαμεσολάβηση στη μάθηση. Οι μαθητές της βιολογίας συμμετέχουν σε αυτό το είδος ενεργητικής μάθησης, όπου εργάζονται σε μικρότερες ομάδες για την επίτευξη κοινών στόχων. Εντός των ομάδων, οι μαθητές ανταλλάσσουν ιδέες. Όταν οι μαθητές συμμετέχουν στη συνεργατική μάθηση, επιτυγχάνουν περισσότερα, συγκρατούν περισσότερες πληροφορίες και αισθάνονται καλύτερα για το θέμα και την ενεργό συμμετοχή τους. Στη συνεργατική μάθηση, δουλειά του εκπαιδευτή είναι να οργανώσει αργότερα τη

συνεργασία των ομάδων καθώς και τη συνεργασία μεταξύ των ομάδων. Σε αυτή την περίπτωση, η ακαδημαϊκή επιτυχία θα είναι μεγαλύτερη για μια ομάδα μαθητών, εάν είναι σε θέση να διαχειριστούν τη συνεργασία τους πιο επιδέξια από ό,τι άλλες ομάδες. Η εργασία σε ομάδες κεντρίζει το ενδιαφέρον των μαθητών για το αντικείμενο και τους δικούς τους προβληματισμούς, γεγονός που με τη σειρά του ενισχύει τον ζήλο τους για μάθηση. Η συνεργατική μάθηση αποτελεί βασική τακτική για την ενεργητική μάθηση, όπως αποδεικνύεται από αρκετές ιστορικές έρευνες (Armstrong et al., 2007).

Η χρήση της διερευνητικής μάθησης στα επιστημονικά προγράμματα σπουδών και στις διδακτικές τεχνικές αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Οι μαθητές παροτρύνονται να εξετάζουν προσεκτικά γιατί αναμένουν συγκεκριμένα αποτελέσματα και πιθανές ερμηνείες αυτών των αποτελεσμάτων (Elkhidir, 2020).

Οι ενότητες που αναπτύσσονται βοηθούν τους μαθητές να βελτιώσουν τις εννοιολογικές τους γνώσεις για τη βιολογία και να αποκτήσουν μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των περίπλοκων βιολογικών διαδικασιών (Elkhidir, 2020).

Μέσω της διερευνητικής μάθησης, οι φοιτητές βιολογίας θα είναι σε θέση να εφαρμόσουν τις διαδικασίες και τους πόρους που έχουν αποκτήσει κατά τη διάρκεια των μαθημάτων βιολογίας για να διερευνήσουν ζητήματα του πραγματικού κόσμου. Για να είναι αποτελεσματική η μάθηση με βάση τη διερεύνηση, οι μαθητές πρέπει να είναι σε θέση να διεξάγουν επιστημονική έρευνα προκειμένου να ερευνήσουν ή/και να βρουν απάντηση σε ένα βιολογικό ερώτημα (Elkhidir, 2020). Σε γενικές γραμμές μέσω της διερευνητικής μάθησης, οι μαθητές οδηγούνται στην ανακάλυψη της γνώσης, αξιοποιώντας τη δοκιμή, το πείραμα και σε αρκετές περιπτώσεις την επαλήθευση ή τη διάψευση. Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει έμφαση στη θεωρία του εποικοδομισμού, όπου δεν υπάρχει μετάδοση της γνώσης, καθώς μπορεί να προσεγγιστεί ουσιαστικά ως μία διαδικασία προσωπικής κατασκευής της γνώσης με βάση προγενέστερες γνώσεις. Κατά συνέπεια, για τη μάθηση θεωρείται σημαντική η αναδιάταξη σε συνδυασμό με την αναδόμηση των διαφόρων ανατομικών νοητικών δομών. Μέσω αυτής της διαδικασίας μπορεί να αναπτυχθεί μία σύγκρουση ανάμεσα στις αρχικές αντιλήψεις και στα εμφανιζόμενα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό ενθαρρύνεται η προσπάθεια των μαθητών / τριών να αναλογιστούν τις διαφορές ανάμεσα στις αρχικές αντιλήψεις και στις σύγχρονες απόψεις και να οδηγηθούν στη διαδικασία της αναδόμησης και ανακατασκευής (Αμπραχίμ & Φυτιλάκος, 2023).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η αξιοποίηση του παιχνιδιού, μέσω του οποίου τα παιδιά έρχονται αντιμέτωπα με μία κατάσταση μάθησης, καθώς σε αρκετές περιπτώσεις ενσωματώνονται δραστηριότητες, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν λίγο πιο υψηλές από τις ήδη δεξιότητες, που έχουν κατακτήσει. Το γεγονός αυτό ερμηνεύει το γιατί θεωρείται σημαντική η υιοθέτηση του παιχνιδιού από πολύ νωρίς στο πλαίσιο της προσχολικής και της μετέπειτα ηλικίας των παιδιών, Τα παιχνίδια, πέρα από τον βαθμό της πολυπλοκότητας ή της δυσκολίας τους αλλά και πέρα από τη χρήση ή όχι της τεχνολογίας διευκολύνουν σε αρκετές περιπτώσεις την υλοποίηση της μαθησιακής διαδικασίας. Η αξιοποίηση του παιχνιδιού διευκολύνει τη διδασκαλία σχέσεων αιτίου - αιτιατού, ενώ οι γνώσεις που κατακτιούνται από τους μαθητές/ τριες μέσω του παιχνιδιού μπορούν να εντυπωθούν με πιο αποτελεσματικό στον μαθητικό πληθυσμό λόγω του διαδραστικού χαρακτήρα της μαθησιακής εμπειρίας (Λαντζούνη κ.α, 2023)

Σε γενικές γραμμές, οι πιο εξειδικευμένες τεχνικές διδασκαλίας επικεντρώνονται στη μάθηση βάσει προβλημάτων σε δομημένες ομάδες, καθώς οι μαθησιακοί στόχοι αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Η κριτική σκέψη θεωρείται ευρέως ως κρίσιμος μαθησιακός στόχος για τα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, ιδίως όταν πρόκειται για την επίλυση προβλημάτων στις βιολογικές και άλλες επιστήμες (Holt et al., 2015).

Κεφάλαιο 2^ο- Οι έννοιες της γενετικής και της κληρονομικότητας στην εκπαίδευση

2.1 Ορισμοί της γενετικής και της κληρονομικότητας

Η γενετική είναι ένα πεδίο μελέτης καθώς και ένα ερευνητικό εργαλείο. Η χρήση της γενετικής ως τεχνικής μελέτης κατέστησε δυνατή την αναγνώριση και αποκρυπτογράφηση του μορίου DNA, το οποίο αποτελεί το κοινό νήμα που συνδέει όλη τη ζωή στη Γη. Προσφέροντας ένα κοινό πλαίσιο και μια κοινή εργαλειοθήκη για τη διερεύνηση των διαφόρων διαδικασιών της ζωής, καθώς και ένα κοινό λεξιλόγιο που επιτρέπει στους ερευνητές σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών πεδίων να μοιράζονται πληροφορίες μέσω της ταυτοποίησης των γονιδίων και της ερμηνείας της αλληλουχίας του DNA τους, ο κλάδος της γενετικής έχει φέρει κοντά τις βιολογικές και βιοϊατρικές επιστήμες. Τόσο ο τομέας που μελετά αυτές τις διαδικασίες όσο και τα υποκείμενα γενετικά συστατικά που συνθέτουν τους ζωντανούς οργανισμούς αναφέρονται ως γενετική (Johnson et al., 2007).

Η μεταφορά χαρακτηριστικών από τους γονείς στους απογόνους τους είναι γνωστή ως κληρονομικότητα. Αυτό συμβαίνει όταν τα κύτταρα ή οι οργανισμοί των απογόνων κληρονομούν τη γενετική σύσταση των γονέων τους είτε μέσω της αγενής είτε μέσω της σεξουαλικής αναπαραγωγής. Οι παραλλαγές μεταξύ των ατόμων μπορούν να συσσωρευτούν μέσω της γενετικής και να οδηγούν στην εξέλιξη των ειδών που καθοδηγείται από τη φυσική επιλογή. Αναλυτικότερα, κληρονομικότητα είναι η μετάδοση γενετικών χαρακτηριστικών από τους γονείς στους απογόνους τους, που επηρεάζει τα βιολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά των ζωντανών οργανισμών. Αυτή η γενετική κληρονομικότητα είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση, την ποικιλομορφία και την εξέλιξη των ειδών και περιλαμβάνει τα πάντα, από τις σωματικές λειτουργίες έως τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα των ματιών. Αναλυτικά, η διαδικασία βασίζεται στην αντιγραφή και τη διανομή του DNA εντός των γονιδίων, μέσω μηχανισμών όπως η σεξουαλική ή η αγενής αναπαραγωγή, για να διασφαλιστεί ότι τα χαρακτηριστικά μεταβιβάζονται από γενιά σε γενιά. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα της κληρονομικότητας είναι εμφανής στις αποχρώσεις των γενετικών

παραλλαγών, όπως τα αλληλόμορφα και οι γονότυποι, που συμβάλλουν στον φαινότυπο ενός ατόμου, δηλαδή σε παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά που διαμορφώνονται τόσο από τη γενετική όσο και από περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις. Αυτή η θεμελιώδης βιολογική αρχή διερευνάται στη γενετική, ένα πεδίο που όχι μόνο ξετυλίγει τα μοτίβα κληρονομικότητας αλλά και εξετάζει την αλληλεπίδραση μεταξύ γονιδίων και περιβάλλοντος, επηρεάζοντας τομείς από την ιατρική έως τη γεωργία (Wong et al., 2021).

Η κληρονομικότητα και η γενετική είναι κεντρικής σημασίας για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα είδη προσαρμόζονται και εξελίσσονται ως απάντηση στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Παρουσιάζουν τη δυναμική σχέση μεταξύ της γενετικής σύνθεσης ενός οργανισμού και του περιβάλλοντός του, αναδεικνύοντας την πλαστικότητα των φαινοτύπων, δηλαδή επεξηγούν πώς οι οργανισμοί μπορούν να προσαρμόζονται τα χαρακτηριστικά τους ως απάντηση στους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτή η προσαρμοστικότητα περιλαμβάνει και αλλαγές στη συμπεριφορά, γεγονός που υποδηλώνει μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ της γενετικής και των περιβαλλοντικών εμπειριών μεταξύ των γενεών. Η έννοια της επιγενετικής κληρονομικότητας, όπου οι αλλαγές στη γονιδιακή έκφραση χωρίς να μεταβάλλεται η αλληλουχία του DNA μπορούν να μεταβιβαστούν, αναδεικνύει αυτή τη δυναμική. Τέτοιες κληρονομικές τροποποιήσεις επιτρέπουν στα είδη να ανταποκρίνονται στις περιβαλλοντικές πιέσεις ταχύτερα από ό,τι θα επέτρεπαν μόνο οι γενετικές μεταλλάξεις. Αυτός ο εξελικτικός μηχανισμός υπογραμμίζει τη σημασία των γενετικών και επιγενετικών παραγόντων για την επιβίωση και την προσαρμογή των ειδών, υποδηλώνοντας ότι η κατανόηση της κληρονομικότητας είναι πιο διαφοροποιημένη από ό,τι πιστεύαμε προηγουμένως, περιλαμβάνοντας τόσο γενετικές όσο και επιγενετικές αλλαγές που επηρεάζονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Harper, 2005).

Όπως αναφέρουν οι Maurel & Kanellopoulos-Langevin (2008), μπορούν να σημειωθούν τουλάχιστον τρεις τύποι (τρεις οδοί) κληρονομικότητας:

1) Μεντελική (πυρηνική) κληρονομικότητα (Mendelian –nuclear- heredity):

Η Μεντελική κληρονομικότητα περιλαμβάνει τη μετάδοση γενετικών πληροφοριών μέσω χρωμοσωμάτων που περιέχονται στον πυρήνα των γεννητικών κυττάρων, όπου κάθε χρωμόσωμα κληρονομείται από έναν γονέα,

καθορίζοντας χαρακτηριστικά που ακολουθούν Μεντελικά πρότυπα κληρονομικότητας.

- 2) **Κυτταροπλασματική κληρονομικότητα (cytoplasmic heredity):** Η κυτταροπλασματική κληρονομικότητα, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει τη μετάδοση χαρακτηριστικών μέσω μη πυρηνικών τμημάτων του κυττάρου, όπως τα μιτοχόνδρια, τα οποία κληρονομούνται από τη μητέρα.
- 3) **Μωσαϊκή κληρονομικότητα ή εμβρυομητρικός μικροχιμαιρισμός (mosaic heredity or microchimerism):** Η μωσαϊκή κληρονομικότητα ή ο εμβρυομητρικός μικροχιμαιρισμός αναφέρεται στην παρουσία δύο γενετικά διαφορετικών κυτταρικών πληθυσμών σε έναν οργανισμό, που συχνά προκύπτουν από τη μεταφορά κυττάρων μεταξύ της μητέρας και του εμβρύου. Αυτή η ποικιλομορφία στις κληρονομικές διαδρομές υπογραμμίζει την πολυπλοκότητα της γενετικής κληρονομικότητας, η οποία εκτείνεται πέρα από την παραδοσιακή μεντελική αντίληψη και περιλαμβάνει τη μετάδοση γενετικών και επιγενετικών πληροφοριών μέσω διαφόρων κυτταρικών μηχανισμών.

Σύμφωνα με τον Bonduriansky (2012), η κληρονομικότητα και η γενετική επανεξετάζονται σήμερα μέσω της αναγνώρισης μη γενετικών μηχανισμών κληρονομικότητας που λειτουργούν παράλληλα με την παραδοσιακή Μεντελική γενετική. Αυτή η ευρύτερη κατανόηση περιλαμβάνει τη διαγενεακή επιγενετική κληρονομικότητα, τη σωματική κληρονομικότητα, την περιβαλλοντική κληρονομικότητα και την πολιτισμική ή συμπεριφορική κληρονομικότητα. Αυτές οι μη γενετικές οδοί επιτρέπουν τη μετάδοση χαρακτηριστικών και στοιχείων του “εκτεταμένου φαινοτύπου” ενός γονέα στους απογόνους του, συμπεριλαμβανομένων μερικές φορές χαρακτηριστικών που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια της ζωής του γονέα. Η προοπτική αυτή εμπλουτίζει την κατανόηση της κληρονομικότητας, αναδεικνύοντας μια πιο σύνθετη και δυναμική διαδικασία γενετικής και επιγενετικής αλληλεπίδρασης που επηρεάζει την ανάπτυξη και την εξέλιξη των οργανισμών πέρα από την απλή μετάδοση της αλληλουχίας του DNA. Το πλουραλιστικό μοντέλο κληρονομικότητας αγκαλιάζει αυτή την πολυπλοκότητα, αναγνωρίζοντας τη

συνύπαρξη γενετικής και μη γενετικής κληρονομικότητας στη διαμόρφωση της φαινοτυπικής ποικιλίας και των εξελικτικών διαδικασιών.

2.2 Ιστορική αναδρομή στη γενετική

Η ίδια η έννοια του “γονιδίου” έχει εξελιχθεί σημαντικά από την ίδρυσή της τη δεκαετία του 1860 έως την περίοδο λίγο πριν από τα ευρήματα του προγράμματος ENCODE, όπως αναφέρεται στο Gerstein et al. (2007). Αρχικά, ο όρος γονίδιο ορίστηκε ως διακριτή μονάδα κληρονομικότητας από τον Γκρέγκορ Μέντελ το 1866, η κατανόηση του γονιδίου διευρύνθηκε όμως περαιτέρω μέσω του έργου του Thomas Hunt Morgan και άλλων, οι οποίοι τη δεκαετία του 1910 χαρτογράφησαν τα γονίδια γραμμικά στα χρωμοσώματα. Μέχρι τη δεκαετία του 1940, η εργασία των Beadle και Tatum στη *Neurospora* οδήγησε στην έννοια “ένα γονίδιο, ένα ένζυμο”, η οποία βελτιώθηκε περαιτέρω σε “ένα γονίδιο, ένα πολυπεπίδιο”.

Τη δεκαετία του 1950 το γονίδιο αναγνωρίστηκε ως φυσικό μόριο, με τους Hershey και Chase να αποδεικνύουν το ρόλο του DNA στην κληρονομικότητα. Η δεκαετία του 1960 έφερε την έννοια των γονιδίων ως μεταγραφόμενων κωδίκων, χάρη στην αποκρυπτογράφηση της δομής του DNA και του γενετικού κώδικα. Τις επόμενες δεκαετίες το γονίδιο θεωρήθηκε εννοιολογικά ως ένα πρότυπο αλληλουχίας που ορίζει τα ανοικτά πλαίσια ανάγνωσης, και μέχρι τις δεκαετίες του 1990 και 2000, τα γονίδια θεωρήθηκαν ως σχολιασμένες γονιδιωματικές οντότητες μέσα σε βάσεις δεδομένων. Αυτός ο εξελισσόμενος ορισμός αντανakλά την αυξανόμενη πολυπλοκότητα και κατανόηση των γενετικών μηχανισμών και των ρυθμιστικών τους λειτουργιών (Gerstein et al., 2007).

Πράγματι, η ιστορία της γενετικής από τα τέλη του 19ου αιώνα μέχρι την εμφάνιση της μοριακής γενετικής αναδεικνύει την εξελικτική κατανόηση των χρωμοσωμάτων και τον κεντρικό τους ρόλο στην κληρονομικότητα. Στις αρχές του 20ού αιώνα παρατηρήθηκε η συγχώνευση της Μεντελιανής γενετικής με τη χρωμοσωμική θεωρία της κληρονομικότητας, χάρη σε πρωτοπόρους όπως ο Thomas Hunt Morgan. Αυτή η ενοποίηση παρείχε μια μηχανιστική βάση για τους νόμους του Μέντελ και εισήγαγε την έννοια της διασταύρωσης, προσφέροντας γνώσεις για τον

γονιδιακό ανασυνδυασμό και τη μετάλλαξη. Σταδιακά, η θεσμοθέτηση της γενετικής, που ωθήθηκε από σημαντικά οικονομικά συμφέροντα και διεθνή συνεργασία, οδήγησε στην καθιέρωση της γενετικής ως επίσημου επιστημονικού κλάδου. Το έργο ορόσημο των Beadle και Tatum τη δεκαετία του 1940 ήταν αυτό που συνέδεσε τα γονίδια με τις βιοχημικές αντιδράσεις, ανοίγοντας το δρόμο για την εποχή της μοριακής γενετικής. Ωστόσο, η ανακάλυψη φαινομένων όπως τα διασπασμένα γονίδια και η εναλλακτική ωρίμανση στα τέλη του 20ού αιώνα αμφισβήτησε την απλουστευτική αντίληψη “ένα γονίδιο - ένα ένζυμο”, περιπλέκοντας τον μοριακό ορισμό ενός γονιδίου. Η έλευση της τεχνολογίας του ανασυνδυασμένου DNA υπογράμμισε περαιτέρω την πολυπλοκότητα των γονιδιακών λειτουργιών και της ρύθμισής τους. Η σημερινή κατανόηση του μη κωδικοποιητικού RNA και των επιγενετικών τροποποιήσεων συνεχίζει να διευρύνει τον ορισμό του τι συνιστά γονίδιο, αντανακλώντας τη δυναμική και εξελισσόμενη φύση της γενετικής έρευνας (Gayon, 2016).

Σύμφωνα με τον Waters (2004), η εξέλιξη της γενετικής κατά τον 20ό και 21ο αιώνα χαρακτηρίζεται από τη μετατόπιση από την κλασική γενετική, η οποία επικεντρώθηκε στην εξήγηση των προτύπων κληρονομικότητας, σε μια ευρύτερη προοπτική που περιλαμβάνει τη διερεύνηση ενός ευρέος φάσματος βιολογικών φαινομένων πέρα από την κληρονομικότητα. Ενώ η κλασική γενετική θεωρήθηκε αρχικά ως θεωρητικά καθοδηγούμενη, περιστρεφόμενη γύρω από τη θεωρία μετάδοσης του Morgan για την εξήγηση της κληρονομικότητας, πρόσφατες αναφορές όπως αυτή του Kohler αμφισβητούν αυτή την άποψη, τονίζοντας ότι ο τομέας ήταν εξίσου αφοσιωμένος στη διερεύνηση βασικών βιολογικών διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης. Αυτό σημαίνει ότι η γενετική δεν ήταν δομημένη αποκλειστικά γύρω από θεωρητικά μοντέλα κληρονομικότητας, αλλά ήταν μια πιο ανοικτή έρευνα της βιολογικής ζωής. Η διάκριση μεταξύ μέσων και σκοπών στην έρευνα της γενετικής καθίσταται κρίσιμη εδώ- ενώ τα επεξηγηματικά μοντέλα κληρονομικότητας ήταν βασικά εργαλεία, αποτελούσαν μέρος ευρύτερων ερευνητικών στρατηγικών που αποσκοπούσαν στην αποκάλυψη νέων γνώσεων σε ολόκληρη τη βιολογία.

Η προοπτική αυτή υποδηλώνει ότι η δομή και η λειτουργία της κλασικής γενετικής, και κατ'επέκταση της σύγχρονης γενετικής, δεν περιορίζονται σε θεωρητικά πλαίσια, αλλά διαμορφώνονται από την ενσωμάτωση θεωρητικών και ερευνητικών προσπαθειών που στοχεύουν σε ένα ευρύ φάσμα βιολογικών ερωτημάτων. Αυτή η

ευρύτερη προσέγγιση υπογραμμίζει τη δυναμική φύση της γενετικής έρευνας, η οποία εξελίσσεται συνεχώς ως απάντηση στις νέες ανακαλύψεις και τεχνολογίες, διευρύνοντας έτσι την κατανόηση της πολυπλοκότητας της ζωής. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Bizzarri et al. (2013), η αναγωγιστική προσέγγιση της μοριακής βιολογίας πρέπει να προσεγγίζεται κριτικά, επειδή παραβλέπει την πολύπλοκη οργάνωση που ενυπάρχει στη ζωντανή ύλη. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει ότι η ουσία της ζωής δεν μπορεί να κατανοηθεί πλήρως εξετάζοντας τα μέρη της μεμονωμένα. Υπογραμμίζεται, λοιπόν, η ανάγκη για ένα θεωρητικό πλαίσιο που να εξηγεί τις αναδυόμενες ιδιότητες και τους νόμους σε κάθε ιεραρχικό επίπεδο της βιολογικής οργάνωσης, από τα μόρια έως τα οικοσυστήματα. Η προοπτική αυτή υποστηρίζει μια εννοιολογική επανάσταση για την υπέρβαση του αναγωγισμού, προτείνοντας την ανάπτυξη μιας θεωρίας της βιολογίας που θα βασίζεται σε γενικές αρχές οι οποίες θα συλλαμβάνουν τη λογική των ζωντανών συστημάτων που είναι κατά κύριο λόγο παρούσα σε υψηλότερα επίπεδα οργάνωσης. Η συστημική βιολογία αναδεικνύεται ως ένα πεδίο που παρεξηγείται ως ένα απλό εργαλείο για τη διαχείριση δεδομένων από τεχνολογίες omics. Αντίθετα, οραματίζεται ως μια διεπιστημονική προσπάθεια που ενσωματώνει διαφορετικά είδη γνώσης, υποσχόμενη μια νέα επανάσταση στην κατανόηση της πολυπλοκότητας των βιολογικών συστημάτων πέρα από το πεδίο εφαρμογής της Μοριακής Βιολογίας.

Πάντως, η εξέλιξη της γενετικής απέδειξε ότι ο Γκρέγκορ Μέντελ ήταν βαθιά μπροστά από την εποχή του λόγω της μοναδικής του προσέγγισης στη γενετική, η οποία δεν εκτιμήθηκε πλήρως παρά πολύ καιρό μετά τις ανακαλύψεις του. Σε αντίθεση με τους συγχρόνους του που ήταν προσηλωμένοι στην εμπειρική επαλήθευση των αποτελεσμάτων του υβριδισμού ή στις θεωρητικές ερμηνείες που έμοιαζαν να συγκρούονται με τις θεωρίες του Δαρβίνου για την εξέλιξη, ο Μέντελ συνδύασε την πειραματική εργασία με τη μαθηματική ανάλυση για να καταδείξει τις αρχές της κληρονομικότητας. Τα σχολαστικά πειράματά του και η σκόπιμη παρουσίαση των ευρημάτων του είχαν ως στόχο να προσφέρουν σαφείς αποδείξεις για τα συμπεράσματά του. Ωστόσο, το έργο του έμεινε αρχικά εκτός του κυρίαρχου επιστημονικού λόγου, με αποτέλεσμα να περάσει μια περίοδος παραμέλησης. Μόνο μέσω διαδοχικών γενεών επιστημόνων που επαναξιολόγησαν και αξιοποίησαν το έργο του, η συμβολή του Μέντελ αναγνωρίστηκε ως θεμελιώδης για τη γενετική. Η αναγνώριση αυτή καταδεικνύει πώς εξελίσσεται η επιστημονική κατανόηση,

απαιτώντας συχνά την επανεξέταση παλαιότερων ανακαλύψεων μέσα από το πρίσμα νέων γνώσεων και προοπτικών (Müller-Wille, 2021).

Σύμφωνα με τον El-Hani (2015), το έργο του Μέντελ αποδεικνύεται σημαντικό όχι μόνο στο πλαίσιο του επιστημονικού διαλόγου, αλλά και στο πλαίσιο της διδακτικής της γενετικής. Η διδασκαλία της γενετικής περιλαμβάνει βασικά τη συζήτηση του πρωτοποριακού έργου του Μέντελ, που θεωρείται ο ακρογωνιαίος λίθος της γενετικής επιστήμης. Τα σχολαστικά πειράματα του Μέντελ με φυτά μπιζελιού, τα οποία διεξήχθησαν στο μοναστήρι των Αυγουστίνων του Αγίου Θωμά, παρουσίασαν τη νέα προσέγγιση στη μελέτη της κληρονομικότητας. Οι μέθοδοί του, όπως αναφέρθηκε και στο Müller-Wille (2021), συνδύαζαν τη μαθηματική και στατιστική ανάλυση με την εμπειρική έρευνα, μια σημαντική απόκλιση από τις αναπαραγωγικές πρακτικές της εποχής του. Παρά την αρχική παραμέληση λόγω του ότι το έργο του ήταν μπροστά από την εποχή του και δημοσιεύθηκε σε ένα λιγότερο γνωστό περιοδικό, τα ευρήματα του Μέντελ αποτέλεσαν αργότερα τα θεμέλια της κλασικής γενετικής μετά την επανανακάλυψή τους το 1900. Η μετατόπιση αυτή χαρακτήρισε το έργο του Μέντελ ως θεμελιώδες, παρά τις συζητήσεις σχετικά με το αν διατύπωσε ρητά τους νόμους του διαχωρισμού και της ανεξάρτητης διαλογής. Η σημασία του έργου του Μέντελ, λοιπόν, στη διδασκαλία της γενετικής δεν έγκειται μόνο στο περιεχόμενο των ανακαλύψεών του αλλά και στη μεθοδολογική του καινοτομία. Το έργο του αποτελεί παράδειγμα της εξέλιξης της επιστημονικής κατανόησης και του κρίσιμου ρόλου των ιστορικών και ερμηνευτικών προοπτικών στην κατανόηση της ανάπτυξης των επιστημονικών θεωριών. Έτσι, η συμβολή του Μέντελ είναι ουσιώδης τόσο για το επιστημονικό της περιεχόμενο όσο και για το ιστορικό της πλαίσιο, αναδεικνύοντας την περίπλοκη διαδικασία της επιστημονικής ανακάλυψης και της επανερμηνείας με την πάροδο του χρόνου.

2.3 Η διδασκαλία της γενετικής

Η ενσωμάτωση του έργου του Γκρέγκορ Μέντελ στη διδασκαλία της γενετικής και της βιολογίας προσφέρει μια πλούσια παιδαγωγική ευκαιρία για τη διερεύνηση της επιστημονικής μεθοδολογίας, της κριτικής σκέψης και του ιστορικού πλαισίου των επιστημονικών ανακαλύψεων. Η έρευνα του Μέντελ, η οποία χαρακτηρίζεται από

αυστηρά πειράματα και καινοτόμες προσεγγίσεις, όπως η ποσοτική ανάλυση και η εισαγωγή των εννοιών του επικρατούντος και του υπολειπόμενου γονιδίου, χρησιμεύει ως θεμέλιο για την κατανόηση της βιολογικής κληρονομικότητας. Οι στρατηγικές διδασκαλίας που περιλαμβάνουν ανάλυση πρωτογενών πηγών, όπως η εργασία του Μέντελ του 1866, μπορούν να ενισχύσουν την εμπλοκή των μαθητών με την επιστημονική διαδικασία, να απομυθοποιήσουν τις επιστημονικές ανακαλύψεις και να προωθήσουν μια βαθύτερη κατανόηση της γενετικής (El-Hani, 2015).

Το έργο των Jiménez Aleixandre και Fernández Pérez (1987, αναφέρεται στο El-Hani, 2015, p. 29) υπογραμμίζει τη σημασία της παρουσίασης των πειραμάτων του Μέντελ στο ιστορικό τους πλαίσιο, ενθαρρύνοντας την κριτική εξέταση των επιστημονικών κειμένων και μεθοδολογιών. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βελτιώνει τις γνώσεις των μαθητών για τη γενετική, αλλά και ενισχύει την ικανότητά τους να αξιολογούν κριτικά την επιστημονική βιβλιογραφία. Επιπλέον, η συμπερίληψη του έργου του Μέντελ σε εκπαιδευτικά πλαίσια αναδεικνύει τη συνεχιζόμενη ανάγκη για αμφισβήτηση και για βελτίωση την κατανόηση της γενετικής, ξεπερνώντας τις απλοϊκές απεικονίσεις της συμβολής του Μέντελ και εκτιμώντας τις πολυπλοκότητες και τις αποχρώσεις της επιστημονικής έρευνας και την εξέλιξή της με την πάροδο του χρόνου (El-Hani, 2015).

Η διδασκαλία της γενετικής, της βιολογίας και της επιστήμης στο σύνολό της ωφελείται σημαντικά από την ενσωμάτωση της κατανόησης της Φύσης της Επιστήμης (ΦτΕ) στο πρόγραμμα σπουδών. Η ΦτΕ περιλαμβάνει όχι μόνο το περιεχόμενο της επιστημονικής γνώσης αλλά και τις διαδικασίες μέσω των οποίων παράγεται αυτή η γνώση, τον δοκιμαστικό χαρακτήρα της και τα ιστορικά και πολιτιστικά πλαίσια που επηρεάζουν τις επιστημονικές ανακαλύψεις. Η έμφαση στη ΦτΕ βοηθά τους μαθητές να εκτιμήσουν τις πολυπλοκότητες της επιστημονικής έρευνας, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης θεωριών, της δυναμικής φύσης της επιστημονικής γνώσης και της διάκρισης μεταξύ θεωριών και νόμων. Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση της ιστορίας της επιστήμης στην επιστημονική εκπαίδευση, ιδίως σε τομείς όπως η γενετική, προσφέρει μια πλαισιωμένη προσέγγιση που αποκαλύπτει την ανθρώπινη πτυχή της επιστημονικής εξερεύνησης και την εξέλιξη των επιστημονικών μοντέλων. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο αμφισβητεί τις παρανοήσεις σχετικά με την επιστήμη αλλά και εμπλουτίζει την κατανόηση των μαθητών, καταδεικνύοντας ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι μια στατική συλλογή γεγονότων αλλά μια δυναμική, εξελισσόμενη

διαδικασία που επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του ιστορικού των επιστημόνων και του πολιτισμικού πλαισίου. Ωστόσο, η αποτελεσματική διδασκαλία της ΦτΕ αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η αλλαγή των βαθιά ριζωμένων παρανοήσεων και η ενσωμάτωση της διδασκαλίας της ΦτΕ στο περιεχόμενο των φυσικών επιστημών με τρόπο που να είναι συναφής και ελκυστικός για τους μαθητές (Williams & Rudge, 2016).

Ορισμένες βασικές προκλήσεις στη διδασκαλία της Φύσης της Επιστήμης μέσα στο πλαίσιο των σχολικών τάξεων είναι οι ακόλουθες (Bartos & Lederman, 2014· Ward & Haigh, 2017):

- Απορρίψεις και περιορισμένη κατανόηση της ΦτΕ μεταξύ των εκπαιδευτικών: Οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί συχνά έχουν εσφαλμένες αντιλήψεις ή περιορισμένη κατανόηση των εννοιών της ΦτΕ. Η κατανόησή τους επηρεάζει άμεσα την ικανότητά τους να διδάξουν αποτελεσματικά τη ΦτΕ στους μαθητές τους.
- Περιορισμοί στο πρόγραμμα σπουδών: Τα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών μπορεί να μην διαθέτουν επαρκή χρόνο ή πόρους για τη διδασκαλία της ΦτΕ, εστιάζοντας αντ' αυτού στη γνώση του περιεχομένου και στην προετοιμασία για τυποποιημένες εξετάσεις.
- Έλλειψη επαγγελματικής ανάπτυξης: Υπάρχει ανάγκη για συνεχείς ευκαιρίες επαγγελματικής ανάπτυξης με επίκεντρο την ΦτΕ για τους εκπαιδευτικούς. Χωρίς κατάλληλη κατάρτιση και πόρους, οι εκπαιδευτικοί μπορεί να αισθάνονται απροετοίμαστοι να ενσωματώσουν τις έννοιες της ΦτΕ στη διδασκαλία τους.
- Δυσκολία στην αξιολόγηση της κατανόησης της ΦτΕ: Η αξιολόγηση της κατανόησης της ΦτΕ από τους μαθητές μπορεί να αποτελέσει επίσης μια σημαντική πρόκληση, καθώς πρόκειται για αφηρημένες έννοιες που δεν προσφέρονται για τις παραδοσιακές μεθόδους εξέτασης.

- Ενσωμάτωση με το περιεχόμενο των Φυσικών Επιστημών: Οι εκπαιδευτικοί μπορεί να δυσκολεύονται με την αποτελεσματική ενσωμάτωση της διδασκαλίας της ΦτΕ με το περιεχόμενο των φυσικών επιστημών, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη διδασκαλία της ΦτΕ σε ένα πλαίσιο που έχει νόημα και σημασία για τους μαθητές.
- Προκατασκευασμένες αντιλήψεις των μαθητών: Οι μαθητές έρχονται στην τάξη με προκατασκευασμένες αντιλήψεις για την επιστήμη, επηρεασμένες από την κουλτούρα, τα μέσα ενημέρωσης και τις προσωπικές τους εμπειρίες, οι οποίες μπορεί μερικές φορές να έρχονται σε σύγκρουση με τις πραγματικές έννοιες της ΦτΕ.
- Διαθεσιμότητα πόρων: Συχνά υπάρχει έλλειψη έτοιμου προς χρήση, αποτελεσματικού διδακτικού υλικού και πόρων για τη διδασκαλία του αντικειμένου της ΦτΕ, γεγονός που καθιστά δύσκολο για τους εκπαιδευτικούς να ενσωματώσουν τις έννοιες της ΦτΕ στα μαθήματά τους.
- Εξισορρόπηση του εύρους και του βάθους: Προσπαθώντας να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα περιεχομένου, οι εκπαιδευτικοί μπορεί να δυσκολεύονται να εμβαθύνουν στις έννοιες της ΦτΕ, οδηγώντας σε επιφανειακή κατανόηση από τους μαθητές.

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης προγραμμάτων σπουδών, της κατάρτισης των εκπαιδευτικών και της δημιουργίας εργαλείων αξιολόγησης που αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια την κατανόηση των μαθητών για την ΦτΕ. Η διδασκαλία της Φύσης της Επιστήμης στις τάξεις απαιτεί μια προσέγγιση που ξεφεύγει από την απλή παροχή επιστημονικών γεγονότων και εμπλέκει τους μαθητές με τις διαδικασίες και τα κοινωνικά και πολιτισμικά πλαίσια της επιστήμης. Η ΦτΕ περιλαμβάνει την κατανόηση ότι η επιστήμη περιλαμβάνει τη δημιουργικότητα και τη φαντασία, και ότι δεν υπάρχει μία και μοναδική μέθοδος για την επιστημονική έρευνα. Υπογραμμίζει τη σημασία των εμπειρικών στοιχείων και αναγνωρίζει ότι τα στοιχεία αυτά μπορεί να

επηρεάζονται από προσωπικές προκαταλήψεις. Επιπλέον, αναγνωρίζει ότι η επιστημονική γνώση δεν είναι απομονωμένη αλλά συνυφασμένη με κοινωνικά και πολιτισμικά στοιχεία και ότι οι πρόοδοι στην επιστήμη συχνά οδηγούν στην τεχνολογική πρόοδο. Αυτές οι βασικές πτυχές της ΦτΕ θα πρέπει να εισάγονται στους μαθητές από νεαρή ηλικία, ώστε να προάγεται μια ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της επιστήμης και της σημασίας της για την κοινωνία. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο εμπλουτίζει την κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου από τους μαθητές, αλλά τους προετοιμάζει επίσης να αξιολογούν κριτικά τις επιστημονικές πληροφορίες, μια βασική δεξιότητα στον σημερινό κόσμο (Ward & Haigh, 2017).

Σύμφωνα με τους Lederman et al. (2014), χρησιμοποιώντας σύγχρονα κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα της γενετικής ως φόντο, η προσέγγιση αυτή ενσωματώνει τη διδασκαλία της Φύσης της Επιστήμης και της Επιστημονικής Έρευνας για να εμβαθύνει την κατανόηση της γενετικής, της ΦτΕ και της επιστημονικής έρευνας από τους μαθητές. Μακριά από το να υποβαθμίζει το περιεχόμενο της γενετικής, αυτή η ρητή και αναστοχαστική μεθοδολογία εμπλουτίζει την κατανόηση και ενθαρρύνει την κριτική σκέψη, επιτρέπει συζητήσεις στην τάξη γύρω από σύνθετα θέματα γενετικής μέσω δομημένων δραστηριοτήτων και ερωτήσεων. Σαφώς, τονίζεται η σημασία της στοχευμένης επαγγελματικής ανάπτυξης των εκπαιδευτικών για την αποτελεσματική ενσωμάτωση και την προσέγγιση της ΦτΕ και της επιστημονικής έρευνας στις διδακτικές πρακτικές, ενισχύοντας έτσι την παιδαγωγική γνώση του περιεχομένου. Ο απώτερος στόχος της ενσωμάτωσης αυτής είναι η προώθηση του επιστημονικού γραμματισμού, εξοπλίζοντας τους μαθητές με τις γνώσεις και τις δεξιότητες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για επιστημονικά θέματα και να κατανοούν τις κοινωνικές επιπτώσεις των επιστημονικών εξελίξεων, που είναι απαραίτητες για την πλοήγηση στα σύγχρονα επιστημονικά ζητήματα.

Οι Stern & Kampourakis (2017) συμφωνούν ότι η διδασκαλία της γενετικής είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη του επιστημονικού αλφαριθμητισμού των μαθητών, καθώς τους επιτρέπει να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα που επηρεάζουν τη ζωή τους. Ο επιστημονικός γραμματισμός περιλαμβάνει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και των διαδικασιών με τις οποίες αναπτύσσεται η επιστημονική γνώση, καθώς και την εφαρμογή των γνώσεων αυτών για την αντιμετώπιση των σύγχρονων κοινωνικών και επιστημονικών διλημμάτων. Αυτός ο αλφαριθμητισμός είναι ζωτικής σημασίας στη μετα-

γονιδιωματική εποχή, όπου οι εξελίξεις στη γενετική επηρεάζουν άμεσα την υγεία, τη συμπεριφορά και την ταυτότητα των ατόμων. Η εκπαίδευση των μελλοντικών πολιτών ώστε να είναι εγγράμματοι στη γενετική περιλαμβάνει όχι μόνο τη μετάδοση γνώσεων σχετικά με τα γονιδιώματα και τις γενετικές διαδικασίες, αλλά και τον εξοπλισμό τους για την αντιμετώπιση ερωτημάτων σχετικά με τις γενετικές εξετάσεις, τα κληρονομικά χαρακτηριστικά και τις ηθικές εκτιμήσεις. Οι λανθασμένες αντιλήψεις για τη γενετική μεταξύ των μαθητών, όπως ο γενετικός ντετερμινισμός, οι παρανοήσεις των γενετικών τεχνολογιών και οι μη ρεαλιστικές προσδοκίες από τη γενετική μηχανική, εμποδίζουν την ανάπτυξη του γενετικού αλφαριθμητισμού. Η αντιμετώπιση αυτών των παρανοήσεων μέσω της εκπαίδευσης που ενσωματώνει τη γνώση της γενετικής με την εφαρμογή της στα κοινωνικά και επιστημονικά ζητήματα μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα των μαθητών να συμμετέχουν σε αιτιολογημένες συζητήσεις και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τις γενετικές τεχνολογίες και τις επιπτώσεις τους.

2.4 Εργαλεία διδασκαλίας

Οι Hartono et al. (2023) υπογραμμίζουν τον κρίσιμο ρόλο του επιστημονικού γραμματισμού στην εκπαίδευση, ιδίως στη διδασκαλία της γενετικής και της κληρονομικότητας στο πλαίσιο της βιολογίας, για την ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να εφαρμόζουν τις επιστημονικές γνώσεις και δεξιότητες σε προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Ο επιστημονικός γραμματισμός, όπως αναφέρουν, είναι απαραίτητος για την ερμηνεία των επιστημονικών φαινομένων, το σχεδιασμό επιστημονικών ερευνών και την κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιστήμης και κοινωνίας, καθώς περιλαμβάνει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, την κριτική σκέψη και την ικανότητα λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων βάσει στοιχείων.

Ειδικότερα, στην εκπαίδευση στη γενετική, ο επιστημονικός γραμματισμός περιλαμβάνει την κατανόηση του γενετικού υλικού, των προτύπων κληρονομικότητας και των μηχανισμών που κρύβονται πίσω από τις γενετικές διαταραχές, επιτρέποντας στους μαθητές να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά κοινωνικο-επιστημονικά ζητήματα. Ωστόσο, η μελέτη των Hartono et al. (2023) υπογραμμίζει μια ανησυχία σχετικά με τα χαμηλά επίπεδα επιστημονικού γραμματισμού των μαθητών, επισημαίνοντας προκλήσεις όπως η ακατάλληλη χρήση σχολικών βιβλίων, οι εσφαλμένες αντιλήψεις

για τη γενετική, η μάθηση χωρίς πλαίσιο και τα μη ευνοϊκά μαθησιακά περιβάλλοντα. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και την ενίσχυση της κατανόησης της γενετικής από τους μαθητές, η έρευνα υποδεικνύει την ανάγκη για διδακτικό υλικό που ενσωματώνει ρητά τον επιστημονικό γραμματισμό και προωθεί καινοτόμες και πλαισιωμένες προσεγγίσεις μάθησης. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στην προετοιμασία των μαθητών να εφαρμόζουν με επάρκεια τον επιστημονικό γραμματισμό στη γενετική, εξοπλίζοντάς τους να περιηγηθούν στις πολυπλοκότητες της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας.

Σύμφωνα με τους Stern & Kavourakis (2017), στο πλαίσιο της διδακτικής της γενετικής, τα μέσα αξιολόγησης της εννοιολογικής κατανόησης της γενετικής από τους μαθητές είναι κρίσιμα εργαλεία στην εκπαίδευση, σχεδιασμένα να αξιολογούν πόσο καλά οι μαθητές κατανοούν βασικές έννοιες της γενετικής. Τα μέσα αυτά δεν περιορίζονται σε κάποιο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό επίπεδο, αν και πολλά από αυτά αναπτύχθηκαν και δοκιμάστηκαν αρχικά σε προπτυχιακούς φοιτητές. Σκοπός τους είναι να διασφαλίσουν ότι οι μαθητές όχι μόνο απομνημονεύουν γενετικά γεγονότα αλλά και ότι κατανοούν τις αρχές και μπορούν να τις εφαρμόζουν σε διάφορα πλαίσια:

- Το εργαλείο αξιολόγησης του γενετικού αλφαριθμητισμού (Genetics Literacy Assessment Instrument) είναι ένα τέτοιο εργαλείο, το οποίο περιλαμβάνει 31 στοιχεία πολλαπλής επιλογής με στόχο τη μέτρηση του γενετικού αλφαριθμητισμού των προπτυχιακών φοιτητών. Καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εννοιών της γενετικής, συμπεριλαμβανομένης της φύσης του γενετικού υλικού, της γονιδιακής έκφρασης και ρύθμισης, της εξέλιξης και των κοινωνικών επιπτώσεων της γενετικής.
- Ένα άλλο αξιοσημείωτο εργαλείο είναι το Genetics Concept Assessment (GCA), προσαρμοσμένο για προπτυχιακούς φοιτητές για την αξιολόγηση της κατανόησης βασικών εννοιών της γενετικής μέσω 25 αντικειμένων πολλαπλής επιλογής. Αυτή η αξιολόγηση είναι δομημένη γύρω από εννέα μαθησιακούς στόχους ενός συγκεκριμένου πανεπιστημιακού μαθήματος γενετικής, εξασφαλίζοντας μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της κατανόησης των φοιτητών.

- Για τους φοιτητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, υπάρχει ένα ειδικό εργαλείο σχεδιασμένο για τη μέτρηση της επιστημονικής συλλογιστικής στη γενετική. Το εργαλείο αυτό περιλαμβάνει 13 στοιχεία πολλαπλής επιλογής που βασίζονται σε έξι βασικές κατηγορίες συλλογισμού, όπως η αντιστοίχιση του γονότυπου στον φαινότυπο και η κατανόηση της μονοϋβριδικής κληρονομικότητας. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα μέσα, αυτό δίνει έμφαση στις ικανότητες συλλογισμού, απαιτώντας από τους μαθητές να παρέχουν γραπτή αιτιολόγηση των επιλογών τους.
- Ακόμη, αναγνωρίζοντας την εννοιολογική πρόκληση που θέτει ο γενετικός ντετερμινισμός, το ερωτηματολόγιο Public Understanding of Genetics and Genomics αναπτύχθηκε για να αξιολογήσει τις γνώσεις σχετικά με τη σύγχρονη γενετική και γονιδιωματική, τις πεποιθήσεις για τον γενετικό ντετερμινισμό και τη στάση απέναντι στις γενετικές και γονιδιωματικές τεχνολογίες. Αυτό το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 45 στοιχεία σε διάφορες μορφές, όπως ερωτήσεις κλίμακας Likert ή ερωτήσεις Σωστού/Λάθους, που περικλείουν 11 βασικές ιδέες για να μετρήσουν την κατανόηση και τις στάσεις των φοιτητών.

Αυτά τα μέσα είναι καθοριστικής σημασίας για τον εντοπισμό παρανοήσεων και την ενίσχυση του γενετικού αλφαριθμητισμού, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για αξιόπιστες και έγκυρες αξιολογήσεις σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Οι Stern & Kampourakis (2017) επισημαίνουν ότι η ποικιλία των εργαλείων που έχουν στη διάθεσή τους οι εκπαιδευτικοί για τη μέτρηση και τη βελτίωση της κατανόησης της γενετικής από τους μαθητές είναι απαραίτητη, καθώς συμβάλλει στην προσαρμογή της διδασκαλίας για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων και παρανοήσεων.

Οι Zubaidah et al. (2023) αναφέρουν μια αξιοσημείωτη μέθοδο για τη διδασκαλία της γενετικής. Στην έρευνά τους αναδεικνύεται η ενσωμάτωση της *Τεχνολογικής, Παιδαγωγικής και Περιεχομενικής Γνώσης* (Technological Pedagogical, and Content Knowledge - χρησιμοποιούν το ακρωνύμιο TPACK) με στρατηγικές ενεργητικής μάθησης, όπως η μάθηση με βάση το πρόβλημα (Problem-Based Learning

- PBL) και η ανάγνωση, η υποβολή ερωτήσεων, η απάντηση (Reading, Questioning, Answering - RQA).

Η μέθοδος TRACK παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που συνδυάζει την τεχνολογία, την παιδαγωγική και τη γνώση περιεχομένου, με στόχο την αποτελεσματική ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις μαθησιακές διαδικασίες. Η συγκεκριμένη έρευνα προτείνει τη χρήση ενεργητικής μάθησης με βάση την μέθοδο TRACK για την ενίσχυση του ψηφιακού και επιστημονικού γραμματισμού των μαθητών, ιδιαίτερα σε πολύπλοκα θέματα όπως η γενετική. Η προσέγγιση αυτή διευκολύνει την εφαρμογή ψηφιακών εργαλείων και πόρων, όπως εικονικά εργαστήρια και εκπαιδευτικά βίντεο, για την εμβάθυνση της κατανόησης των εννοιών της γενετικής από τους μαθητές. Αξιοποιώντας την τεχνολογία, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να δημιουργήσουν δυναμικά και διαδραστικά μαθησιακά περιβάλλοντα που ενθαρρύνουν τους μαθητές να ασχοληθούν ενεργά με την ύλη, να εφαρμόσουν κριτική σκέψη και να επιλύσουν προβλήματα του πραγματικού κόσμου. Η μέθοδος αυτή προάγει τη βαθύτερη κατανόηση της γενετικής και των εφαρμογών της, καθιστώντας την πολύτιμο εργαλείο για τους εκπαιδευτικούς στην ψηφιακή εποχή (Zubaidah et al., 2023).

Μάλιστα, οι Cebesoy & Tekkaya (2012) τονίζουν ότι τον απόηχο των τεχνολογικών εξελίξεων και της επανάστασης που έχει σημειώσει η βιοτεχνολογία, η διδασκαλία της βιολογίας και της γενετικής έχει γίνει ολοένα και πιο ζωτικής σημασίας στη σύγχρονη εποχή. Καθώς η κοινωνία πλέον βρίσκεται αντιμέτωπη με διλήμματα που αφορούν τις νέες γενετικές τεχνολογίες και τις επιπτώσεις τους, η γενετική παιδεία αναδεικνύεται σε κρίσιμη συνιστώσα του επιστημονικού αλφαριθμητισμού. Η κατάσταση αυτή αναδεικνύει τη σημασία του γενετικού γραμματισμού, αφού αυτός ο γραμματισμός επιτρέπει στα άτομα να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την προσωπική τους ευημερία και τα κοινωνικά ζητήματα που σχετίζονται με τη γενετική και τη βιοτεχνολογία. Η έννοια του γενετικού αλφαριθμητισμού υπογραμμίζει τη σημασία της κατανόησης των αρχών της γενετικής για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων σε προσωπικό και κοινωνικό επίπεδο. Περιλαμβάνει τη γνώση του DNA, των γονιδίων και των επιπτώσεών τους στις ανθρώπινες υποθέσεις, τονίζοντας την ανάγκη τα άτομα να περιηγηθούν με γνώση σε ηθικά και κοινωνικά αμφιλεγόμενα ζητήματα. Δεδομένης της πολυπλοκότητας και των εννοιολογικών προκλήσεων που

αντιμετωπίζουν οι μαθητές στην κατανόηση της γενετικής, η ενίσχυση της εκπαίδευσης στη γενετική είναι υψίστης σημασίας (Gericke & Hagberg, 2007).

Επομένως, χρειάζεται ένα ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο, το οποίο όχι μόνο θα καλύπτει τις βασικές έννοιες της γενετικής αλλά και θα προάγει την κατανόηση και τη συλλογιστική σχετικά με τις ηθικές, νομικές και κοινωνικές επιπτώσεις των τεχνολογιών γενετικής. Ένα τέτοιο πλαίσιο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη γενετικά εγγράμματων ατόμων ικανών για τεκμηριωμένες κρίσεις και αποφάσεις σε έναν επιστημονικά καθοδηγούμενο κόσμο. Έτσι, η αξιολόγηση και η βελτίωση των επιπέδων γενετικής παιδείας τόσο των εκπαιδευτικών όσο και των μαθητών καθίσταται κρίσιμη στην προσπάθεια αυτή, αναδεικνύοντας το ρόλο της εκπαίδευσης στον εξοπλισμό της κοινωνίας για την υπεύθυνη αντιμετώπιση των εξελίξεων και των προκλήσεων που θέτει η γενετική και η βιοτεχνολογία (Cebesoy & Tekkaya, 2012).

Σε προχωρημένο επίπεδο της διδασκαλίας της βιολογίας και της γενετικής, οι Colon-Berlinger & Burrowes (2011) αναφέρουν τη σημασία της ενσωμάτωσης στατιστικής. Όπως εξηγούν, η ενσωμάτωση στατιστικών εννοιών στα προπτυχιακά μαθήματα βιολογίας προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για την ενίσχυση της κατανόησης και της ικανότητας των φοιτητών να εφαρμόζουν στατιστικές έννοιες στη βιολογία. Η προσέγγιση αυτή, που εφαρμόστηκε σε μαθήματα γενετικής και ζωολογίας, παρατηρήθηκε ότι οδήγησε σε βελτιώσεις στην κατανόηση της έννοιας της συσχέτισης, της διενέργειας συσχετίσεων μεταξύ μεταβλητών και ότι βελτίωσε τις δεξιότητες των φοιτητών στη χρήση γραφικών παραστάσεων για την ερμηνεία δεδομένων. Επίσης, η προσέγγιση αυτή ενίσχυσε την ευαισθητοποίηση των φοιτητών σχετικά με τη σημασία της στατιστικής στην ανάλυση βιολογικών δεδομένων. Βασικές προκλήσεις που σημειώθηκαν στην ενσωμάτωση των στατιστικών εννοιών στην βιολογική επιστήμη ήταν η κατανόηση των κατανομών πιθανοτήτων, της τιμής p και της στατιστικής σημαντικότητας, όπως επίσης και του ελέγχου υποθέσεων. Η αντιμετώπισή τους απαιτεί την έμφαση στη μαθηματική ανάλυση στην εκπαίδευση στη βιολογία και τη σύνδεση των μαθηματικών εννοιών με τις επιστημονικές εφαρμογές. Η συνεργασία μεταξύ των εκπαιδευτικών μαθηματικών, στατιστικής και βιολογίας μπορεί να οδηγήσει σε νέα ή αναθεωρημένα μαθήματα που ενσωματώνουν βιολογικά παραδείγματα.

Συνιστάται, λοιπόν, η έγκαιρη ενσωμάτωση των μαθηματικών και της βασικής στατιστικής στο πρόγραμμα σπουδών, διασφαλίζοντας ότι οι μαθητές είναι προετοιμασμένοι για προχωρημένα μαθήματα βιολογίας. Οι προσπάθειες για τη βελτίωση της διεπιστημονικής διδασκαλίας, συμπεριλαμβανομένων των εργαστηρίων για τους καθηγητές και της αναθεώρησης των ακολουθιών του προγράμματος σπουδών, είναι ζωτικής σημασίας για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ μαθηματικών και βιολογίας, ενισχύοντας τελικά τις διεπιστημονικές γνώσεις και δεξιότητες των μαθητών (Aikens, 2020).

2.5 Μελέτες από εξωτερικό

Ένα σημαντικό θέμα που διερευνάται στο πλαίσιο εξέτασης της διδασκαλίας της γενετικής, όπως φαίνεται από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο εξωτερικό, είναι η προοπτική της εστίασης σε κοινωνικά και επιστημονικά ζητήματα που συνδέονται με τις γνώσεις που προσφέρει η ενασχόληση με τις φυσικές επιστήμες. Οι Dawson & Venville (2010) διεξήγαγαν μια ενδιαφέρουσα μελέτη περίπτωσης, κατά την οποία το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε ακριβώς στη διερεύνηση του αντίκτυπου της διδασκαλίας δεξιοτήτων επιχειρηματολογίας στις ικανότητες των μαθητών να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τα αποδεικτικά στοιχεία για επιστημονικά θέματα, ιδίως στο πλαίσιο της γενετικής. Στη μελέτη συμμετείχε ένας Αυστραλός καθηγητής φυσικών επιστημών ο οποίος παρακολούθησε ένα επαγγελματικό σεμινάριο σχετικά με τις δεξιότητες επιχειρηματολογίας. Μετά από αυτή τη συνεδρία, ο εκπαιδευτικός εφάρμοσε ό,τι έμαθε διδάσκοντας δεξιότητες επιχειρηματολογίας σε δύο τάξεις του 10ου έτους (στο εκπαιδευτικό σύστημα της Αυστραλίας, η βαθμίδα αυτή αντιστοιχεί στο ελληνικό Λύκειο) μέσω μιας σειράς δύο μαθημάτων που επικεντρώθηκαν στη γενετική.

Η μέθοδος για τη διδασκαλία αυτών των δεξιοτήτων περιελάμβανε τη χρήση συζητήσεων σε ολόκληρη την τάξη και την παροχή στους μαθητές γραπτών πλαισίων για τη διερεύνηση δύο κοινωνικοεπιστημονικών θεμάτων που σχετίζονται με τη γενετική. Η προσέγγιση αυτή είχε ως στόχο να δώσει στους μαθητές πρακτική εμπειρία στη διαμόρφωση, παρουσίαση και υπεράσπιση επιχειρημάτων που βασίζονται σε επιστημονικά στοιχεία. Συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δεδομένα από διάφορες πηγές

για να κατανοηθεί ο αντίκτυπος αυτών των στρατηγικών διδασκαλίας. Οι πηγές αυτές περιλάμβαναν σημειώσεις πεδίου από παρατηρήσεις στην τάξη, απομαγνητοφωνήσεις από ηχογραφημένα μαθήματα, τα πραγματικά πλαίσια γραφής που χρησιμοποιήθηκαν από τους μαθητές κατά τη διάρκεια των μαθημάτων και συνεντεύξεις με τους μαθητές. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στον εντοπισμό των βασικών παραγόντων που φάνηκε να προάγουν την αποτελεσματική επιχειρηματολογία των μαθητών. Στους παράγοντες που εντοπίστηκαν περιλαμβάνονταν ο ρόλος του εκπαιδευτικού στην καθοδήγηση και τη διευκόλυνση των συζητήσεων, η χρήση πλαισίων γραφής για τη δόμηση των επιχειρημάτων των μαθητών, η επιλογή κοινωνικοεπιστημονικών θεμάτων ως πλαίσιο μάθησης και ο ενεργός ρόλος των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία.

Οι μαθητές που ασχολήθηκαν με την επιχειρηματολογία έδειξαν αυξημένη δέσμευση και ήταν σε θέση να διατυπώσουν και να προβληματιστούν σχετικά με διαφορετικές απόψεις, αποδεικνύοντας την αξία της ενσωμάτωσης της επιχειρηματολογίας στην εκπαίδευση της γενετικής. Η μελέτη των Dawson & Venville (2010) αναδεικνύει τη σημασία της διευκόλυνσης των εκπαιδευτικών σε συζητήσεις επιχειρηματολογίας και υποδηλώνει ότι ακόμη και μια σύντομη παρακολούθηση ενός σεμιναρίου στο πλαίσιο της επαγγελματικής ανάπτυξης στην επιχειρηματολογία μπορεί να επιτρέψει στους εκπαιδευτικούς να εισάγουν αποτελεσματικά την επιχειρηματολογία για να ενισχύσουν την κατανόηση των μαθητών για τη γενετική και την κοινωνικοεπιστημονική επιχειρηματολογία.

Οι Aivelo & Uitto (2019) πραγματοποίησαν μια έρευνα στην Φινλανδία, εστιάζοντας στην επιλογή του περιεχομένου από τους εκπαιδευτικούς και στην εξέταση αμφιλεγόμενων και ευαίσθητων θεμάτων στη διδασκαλία της γενετικής στο πλαίσιο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η μελέτη τους αποκάλυψε ότι οι Φινλανδοί καθηγητές βιολογίας της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης παρουσιάζουν διαφορετικές οπτικές γωνίες σε καίρια θέματα γενετικής, οδηγώντας σε ποικίλες εμφάνσεις στη διδασκαλία τους: Δομική, Κληρονομική και Αναπτυξιακή. Αυτή η ποικιλομορφία, που βασίζεται στις αντιλήψεις τους για τα βασικά θέματα γενετικής, τα ενδιαφέροντα των μαθητών και τον χειρισμό ευαίσθητων θεμάτων, υποδηλώνει ότι οι επιλογές έμφασης των εκπαιδευτικών θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις κατευθύνσεις του πλαισίου και του περιεχομένου της εκπαίδευσης στη γενετική. Ενώ ορισμένοι εκπαιδευτικοί δίνουν προτεραιότητα στις θεωρητικές πτυχές (πρόκειται για τη δομική έμφαση), άλλοι επικεντρώνονται σε πιο προσωπικές ή αναπτυξιακές πτυχές,

δείχνοντας μια διαφοροποιημένη προσέγγιση για την ενσωμάτωση της γενετικής στη διδασκαλία. Η μελέτη αναδεικνύει περαιτέρω μια γενική τάση μεταξύ των εκπαιδευτικών να δίνουν προτεραιότητα στις θεμελιώδεις επιστημονικές γνώσεις έναντι των κοινωνικών θεμάτων, εκτός αν περιλαμβάνονται ρητά στο πρόγραμμα σπουδών, όπως οι συζητήσεις για τους γενετικά τροποποιημένους οργανισμούς (genetically modified organisms – GMOs). Η προσέγγιση αυτή εγείρει ερωτήματα σχετικά με την ενσωμάτωση κοινωνικοεπιστημονικών θεμάτων στην εκπαίδευση στη γενετική, υποδεικνύοντας ένα πιθανό χάσμα μεταξύ των εκπαιδευτικών στόχων και των πρακτικών στην τάξη. Οι αποφάσεις των εκπαιδευτικών σχετικά με το περιεχόμενο και το πλαίσιο στη διδασκαλία της γενετικής αντανakλούν ευρύτερους εκπαιδευτικούς στόχους, εξισορροπώντας τον επιστημονικό γραμματισμό με την προετοιμασία για περαιτέρω εκπαίδευση.

Οι Mead et al. (2017) διερεύνησαν την διδασκαλία της γενετικής και της εξέλιξης στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ανακάλυψαν ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο, η σειρά με την οποία διδάσκονται η γενετική και η εξέλιξη επηρεάζει σημαντικά την κατανόηση των μαθητών για τα δύο μαθήματα. Αναλύοντας τις επιπτώσεις της σειράς διδασκαλίας μέσω ερωτηματολογίων μαθητών και ομάδων εστίασης, διαπίστωσαν ότι οι μαθητές που διδάχθηκαν τη γενετική πριν από την εξέλιξη επέδειξαν σημαντική βελτίωση στην κατανόηση τόσο της γενετικής όσο και της εξέλιξης. Η μέθοδος αυτή ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική για τους μαθητές με βασικές ικανότητες, για τους οποίους αυτή η σειρά διδασκαλίας ήταν η μόνη που ενίσχυε τις γνώσεις τους για την εξέλιξη. Η έρευνα υπέδειξε ότι η διδασκαλία της γενετικής πριν από την εξέλιξη μπορεί να λειτουργήσει ως εισαγωγικό στάδιο, ενισχύοντας τη δεκτικότητα των μαθητών στις έννοιες της εξέλιξης χωρίς να βλάψει την κατανόηση της γενετικής. Αυτή η παιδαγωγική στρατηγική, η οποία απαιτεί ελάχιστες αλλαγές και δεν απαιτεί πρόσθετους πόρους, παρουσιάζει μια δυνητικά αποτελεσματική προσέγγιση για τη βελτίωση των εκπαιδευτικών αποτελεσμάτων σε αυτά τα θέματα. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία της εξέτασης της σειράς εισαγωγής των θεμάτων στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες για την ενίσχυση της μάθησης των μαθητών και της αποδοχής σύνθετων εννοιών.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα έρευνα που διεξήχθη στην Ινδία αναφέρει με σαφή τρόπο τις δυσκολίες στη διδασκαλία της γενετικής και προτείνει λύσεις. Ο Gupta

(2019) στη μελέτη του επισημαίνει δύο κύριες κατηγορίες προκλήσεων στη διδασκαλία της γενετικής:

- γενικές διδακτικές δυσκολίες που ισχύουν για όλα τα μαθήματα, και
- ειδικά ζητήματα που αφορούν μόνο την εκπαίδευση στη γενετική.

Οι γενικές διδακτικές προκλήσεις περιλαμβάνουν τις διαφορετικές ικανότητες μάθησης των μαθητών, οι οποίες επηρεάζονται εν μέρει από τη γενετική, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για προσαρμοστικές στρατηγικές διδασκαλίας. Η αντίσταση στην υιοθέτηση επιστημονικά αποδεδειγμένων, αποτελεσματικών μεθόδων διδασκαλίας είναι ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο. Παρά τα στοιχεία που υποστηρίζουν τις στρατηγικές ενεργητικής μάθησης, πολλοί εκπαιδευτικοί συνεχίζουν να χρησιμοποιούν λιγότερο αποτελεσματικές μεθόδους, ενδεχομένως λόγω του φόβου υπονόμησης της ερευνητικής τους αξιοπιστίας ή της προσπάθειας που απαιτείται για την εκμάθηση νέων προσεγγίσεων.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, ο Gupta (2019) προτείνει διάφορες στρατηγικές. Πιο συγκεκριμένα, συνιστάται η έμφαση στην επιστημονική διδασκαλία, η οποία περιλαμβάνει την ενεργητική μάθηση, την τακτική αξιολόγηση και την αναγνώριση της ποικιλομορφίας στην τάξη. Ειδικά για τη γενετική, η χρήση διαδραστικών μεθόδων διδασκαλίας, όπως η επίλυση προβλημάτων, οι μελέτες περιπτώσεων και οι εργαστηριακές ασκήσεις που βασίζονται στη διερεύνηση, μπορεί να ενισχύσει τη δέσμευση και την κατανόηση των μαθητών. Η τακτική αξιολόγηση μέσω εργαλείων όπως το Genetics Concept Assessment (GCA) μπορεί να βοηθήσει στην παρακολούθηση της προόδου των μαθητών και στον εντοπισμό των περιοχών που χρειάζονται ενίσχυση. Επιπλέον, η αναγνώριση και η αντιμετώπιση της ποικιλομορφίας στις μαθησιακές ικανότητες και το υπόβαθρο των μαθητών είναι ζωτικής σημασίας για την χωρίς αποκλεισμούς και αποτελεσματική εκπαίδευση στη γενετική. Η εφαρμογή αυτών των στρατηγικών απαιτεί στροφή προς πιο διαδραστικές και μαθητοκεντρικές μεθόδους διδασκαλίας, υπογραμμίζοντας τη σημασία της επαγγελματικής ανάπτυξης στις σύγχρονες εκπαιδευτικές πρακτικές για τους εκπαιδευτικούς γενετικής.

Τέλος, οι Woody & Himelblau (2013) υποστηρίζουν τη χρήση αναλογιών στην εκπαίδευση στη γενετική, υποδεικνύοντας ότι η στρατηγική αυτή μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατακτήσουν το πολύπλοκο λεξιλόγιο και τις έννοιες της γενετικής επιστήμης. Οι αναλογίες συγκρίνονται με μια εμπειρία “πλήρους εμβάπτισης”, όπως το ταξίδι στο εξωτερικό για την εκμάθηση μιας δεύτερης γλώσσας, τονίζοντας τη δυνατότητά τους να εμβαθύνουν την κατανόηση μέσω της συνεχούς χρήσης και της προσοχής στις γλωσσικές αποχρώσεις. Ωστόσο, τονίζεται ότι οι αναλογίες ως μέθοδος στη διδασκαλία της γενετικής έχουν τους περιορισμούς τους και μπορεί να μην αντέχουν σε έντονο έλεγχο. Ο πρωταρχικός στόχος αυτών των αναλογιών είναι να αποσαφηνιστούν οι διακρίσεις μεταξύ γενετικών όρων όπως τα αλληλόμορφα και οι τόποι, καθώς και μεταξύ άγριου τύπου, κυρίαρχων και υπολειπόμενων αλληλόμορφων. Η εστίαση αυτή ευθυγραμμίζεται με τους στόχους των Επιστημονικών Προτύπων Επόμενης Γενιάς και του αναθεωρημένου προγράμματος σπουδών AP Biology (αναθεωρημένο πρόγραμμα σπουδών στο μάθημα της Βιολογίας στην Αμερική), τα οποία τονίζουν τη σημασία της εξέλιξης στη βιολογία.

Αναλυτικότερα, το αναθεωρημένο πρόγραμμα σπουδών AP Biology, μια επικαιροποίηση του μαθήματος και των εξετάσεων Advanced Placement Biology που προσφέρονται σε μαθητές λυκείου από το College Board στις Ηνωμένες Πολιτείες, τέθηκε σε εφαρμογή το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013. Η αναθεώρηση αυτή ήταν μια σημαντική αναμόρφωση με στόχο τη μετατόπιση της εστίασης από την απομνημόνευση βιολογικών γεγονότων στην κατανόηση και εφαρμογή βασικών εννοιών και επιστημονικών πρακτικών. Το αναθεωρημένο πρόγραμμα σπουδών δίνει πλέον έμφαση στη μάθηση με βάση τη διερεύνηση, την επιστημονική συλλογιστική και την ενσωμάτωση βιολογικών θεμάτων με μειωμένο εύρος θεμάτων, ώστε να είναι δυνατή η βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση (Patterson & Ewing, 2013). Το επικαιροποιημένο πρόγραμμα σπουδών είναι δομημένο γύρω από τέσσερις Μεγάλες Ιδέες, οι οποίες περιλαμβάνουν τις βασικές επιστημονικές αρχές, θεωρίες και διαδικασίες της βιολογίας. Αυτές οι Μεγάλες Ιδέες είναι οι εξής (Little, 2013):

1. Η διαδικασία της εξέλιξης οδηγεί στην ποικιλομορφία και την ενότητα της ζωής.
2. Τα βιολογικά συστήματα χρησιμοποιούν την ελεύθερη ενέργεια και τα μοριακά δομικά στοιχεία για να αναπτυχθούν, να αναπαραχθούν και να διατηρήσουν τη δυναμική ομοιόσταση.

3. Τα ζωντανά συστήματα αποθηκεύουν, ανακτούν, μεταδίδουν και ανταποκρίνονται στις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τις διαδικασίες της ζωής.
4. Τα βιολογικά συστήματα αλληλεπιδρούν και τα συστήματα αυτά και οι αλληλεπιδράσεις τους διαθέτουν πολύπλοκες ιδιότητες.

Η έρευνα των Woody & Himelblau (2013) υπογραμμίζει ότι η κατανόηση των αλληλικών διαφορών είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των εξελικτικών διαδικασιών και επομένως είναι αναγκαίο να αποτελούν σημαντικό μέρος στη διδασκαλία της γενετικής.

Για την επιτυχή διδασκαλία των σύνθετων αυτών εννοιών, προτείνουν ότι η χρήση αναλογιών ως διδακτικής μεθόδου θα μπορούσε να βελτιώσει την κατανόηση στο πλαίσιο της διδασκαλίας της γενετικής και της βιολογίας συνολικά.

Κεφάλαιο 3 – Αντιλήψεις και στάσεις μαθητών και εκπαιδευτικών για τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας

3.1 Αντιλήψεις και στάσεις μαθητών για τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας

Ο τομέας της Γενετικής έχει αναπτυχθεί με ταχείς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια, αναδεικνύοντας τον ρόλο της κατανόησης όλων των θεμάτων, που συνδέονται με τον συγκεκριμένο τομέα, καθώς αναπτύσσεται ένας έντονος εκπαιδευτικός, ηθικός, οικονομικός και πολιτικός προβληματισμός για τις εφαρμογές της σύγχρονης Γενετικής. Για όλα αυτά τα θέματα συνδιαλέγονται αρκετοί μελετητές σε διάφορα κράτη, όπως και στη χώρα μας, όπου αναδεικνύεται η ανάγκη ενός υψηλού επιπέδου της επιστημονικής βασικής εκπαίδευσης μεταξύ του κοινού για τη διαχείριση τέτοιου είδους θεμάτων και για την παροχή μίας ενημερωμένης συγκατάθεσης για τις χρήσεις των νέων τεχνολογιών (Banet & Ayuso, 2003).

Η φιλοσοφική και επιστημολογική προσέγγιση στη μελέτη των γενετικών διαδικασιών φέρνει στο προσκήνιο τις βασικές παρανοήσεις που προκύπτουν από την αντίληψη της γενετικής ως μονοδιάστατης. Στη σύγχρονη βιολογία, η κλασική εικόνα του γονιδίου ως απόλυτου φορέα της κληρονομικότητας έχει δεχτεί αμφισβητήσεις, καθώς το γονίδιο δεν δρα αυτόνομα αλλά εξαρτάται από ένα δίκτυο αιτιακών σχέσεων, περιλαμβάνοντας την επίδραση εξωτερικών και περιβαλλοντικών παραγόντων (Γεωργάτου, 2008)

Η έμφαση στην αποκλειστικότητα του DNA ως φορέα πληροφορίας οδήγησε σε μια γενετική προσέγγιση όπου το γονίδιο θεωρείται η κυρίαρχη, αυτοδύναμη αιτία που προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά ενός οργανισμού. Αυτή η προσέγγιση, γνωστή ως γονιδιοκεντρισμός, επιδιώκει να εξηγήσει τη βιολογική ανάπτυξη αποκλειστικά μέσω των γονιδίων, αφήνοντας συχνά εκτός σημαντικούς παράγοντες, όπως τις επιγενετικές αλληλεπιδράσεις (Γεωργάτου, 2008).

Με βάση διεθνείς έρευνες, η γενετική αποτελεί ένα από τα πιο δύσκολα θέματα στα προγράμματα σπουδών του γνωστικού αντικείμενου της βιολογίας στον χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Για τον λόγο αυτό από τη δεκαετία του '80 πολλοί

ερευνητές έστρεψαν το ενδιαφέρον τους στη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες. Στο πλαίσιο αυτό έμφαση δίνεται στην αναθεώρηση της αντίληψης ότι οι μαθητές μπορούν να προσεγγιστούν ως άγραφες πλάκες, στις οποίες οι εκπαιδευτικοί έχουν τη δυνατότητα εγγραφής της γνώσης. Όπως επισημαίνουν αρκετοί μελετητές τις περισσότερες φορές οι ιδέες των μαθητών μπορούν να θεωρηθούν λανθασμένες και εναλλακτικές, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις θεωρούνται παρανοήσεις (Driver et al., 1998). Επίσης, πολλές φορές τα παιδιά της ίδιας ηλικίας αλλά διαφορετικών εθνοτήτων, τα οποία ζουν σε διαφορετικά κοινωνικά και πολιτισμικά περιβάλλοντα καλούνται να αναπτύξουν παρόμοιες αντιλήψεις για τα ίδια φυσικά φαινόμενα, πριν από την επίσημη διδασκαλία του συγκεκριμένου γνωστικού αντικείμενου στον χώρο του σχολείου. Επίσης, υποστηρίζεται ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι μαθητές συγκρούονται με το σύγχρονο επιστημονικό μοντέλο, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό στη σύγκρουση των δύο μοντέλων κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας (Driver et al., 1993).

Στο πλαίσιο αυτό τις τελευταίες δεκαετίες έχουν υλοποιηθεί πολλές έρευνες ως προς τη γνώση αλλά επίσης και ως προς την κατανόηση των διαφόρων εννοιών της γενετικής, οι οποίες αναδεικνύουν τη φτωχή κατανόηση των διαδικασιών για τη μεταφορά της γενετικής πληροφορίας από τους μαθητές. Επίσης, προβάλλουν την έλλειψη βασικών γνώσεων ως προς τις εμπλεκόμενες δομές σε αυτές τις διαδικασίες, με πιο σημαντικές το κύτταρο, το χρωμόσωμα και το γονίδιο (Smith & Williams 2007). Οι πιο πολλές από αυτές τις έρευνες δίνουν έμφαση τις πιο πολλές φορές σε μαθητές μίας ηλικιακής ομάδας ή σε μαθητές μίας τάξης (Smith & Williams, 2007).

Ενδεικτικά αναφέρεται μία έρευνα, στο πλαίσιο της οποίας διερευνήθηκαν οι αντιλήψεις 312 μαθητών δημόσιων λυκείων της χώρας μας σχετικά με τα θέματα της γενετικής και της κληρονομικότητας, χρησιμοποιώντας το ερευνητικό εργαλείο του ερωτηματολογίου. Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας επισημαίνεται η περιορισμένη κατανόηση των διαδικασιών της γενετικής, ενώ οι μαθητές δε φαίνεται να μπορούν να κατανοήσουν τις σχέσεις μεγέθους ανάμεσα στις διάφορες εμπλεκόμενες βιολογικές δομές. Οι περισσότεροι από τους συμμετέχοντες στην έρευνα αυτή προχωρούν στη σύνδεση των γονιδίων με την κληρονομικότητα και τα χαρακτηριστικά των διαφόρων οργανισμών. Όμως, δεν γνωρίζουν την ύπαρξη κάποιας υλικής υπόστασής από τα γονίδια αλλά ούτε τη σύνδεσή τους με την παραγωγή άλλων μακρομορίων. Οι περισσότεροι μαθητές δεν έχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν τις

υπάρχουσες διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους κυτταρικής διαίρεσης, ενώ δεν μπορούν να διακρίνουν ούτε τους σκοπούς που εξυπηρετούν. Επίσης, οι μαθητές θεωρούν ότι σε κάθε κυτταρικό τύπο εμπεριέχεται μόνο η γενετική πληροφορία που θεωρείται απαραίτητη για την επιτέλεσή της λειτουργίας τους. Επιπλέον, υποστηρίζεται ότι οι μαθητές στη χώρα μας διακρίνονται για την ύπαρξη μεγάλων κενών γνώσεων ως προς την αναπαραγωγή, αδυνατώντας να κατανοήσουν τους μηχανισμούς και τα πλεονεκτήματα της αμφιγονίας (Κουμπάρου et al, 2011).

Ο στόχος της επόμενης μελέτης ήταν να διερευνηθούν οι παράγοντες που συνδέονται με τους εκπαιδευτικούς και τους μαθητές, προκειμένου να κατανοηθούν οι στάσεις των μαθητών απέναντι στις εφαρμογές της γενετικής και τη μάθηση στον κλάδο της γενετικής στον χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στην έρευνα αυτή συμμετείχαν 421 μαθητές ηλικίας μεταξύ 17 και 20 ετών από δέκα σχολεία συμμετείχαν.

Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι απόψεις των μαθητών για τη σημασία της γενετικής, καθώς επίσης και η στάση των μαθητών απέναντι στη γονιδιακή τεχνολογία και την πίστη στον γενετικό ντετερμινισμό. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τη μοντελοποίηση με βάση τη θεωρία απόκρισης αντικειμένων, δίνοντας έμφαση στις διδακτικές εμφάσεις των εκπαιδευτικών, το μαθησιακό υλικό, το φύλο και τον αριθμό των μαθητών, που παρακολούθησαν μαθήματα βιολογίας ως επεξηγηματικές μεταβλητές. Η στάση απέναντι στη γονιδιακή τεχνολογία και η πεποίθηση στο γενετικό ντετερμινισμό συνδέθηκαν από τους ερευνητές με όλους τους ανεξάρτητους παράγοντες. Η στάση των αγοριών απέναντι στη γονιδιακή τεχνολογία ήταν πιο φιλελεύθερη, καθώς είχαν υψηλότερη αυτοαντίληψη, αλλά θεωρούσαν μικρότερη τη σημασία της γενετικής και επίσης η και η πίστη τους στον γενετικό ντετερμινισμό παρουσιάστηκε ασθενέστερη σε σχέση με τις γυναίκες (Aivelo & Uitto, 2021).

Στην πλέον πρόσφατη ελληνική βιβλιογραφία αναδεικνύονται κάποια ενδιαφέροντα δεδομένα με τη διδακτορική διατριβή της Δέσποινας Τσόπογλου-Γκίνα (2023). Η ερευνήτρια ανέλυσε συστηματικά 38 επιστημονικές δημοσιεύσεις και 11 επιστημονικά άρθρα που αφορούσαν αντιλήψεις μαθητών. Προχώρησε επίσης σε ημιδομημένη συνέντευξη με 18 μαθητές της Γ' Λυκείου και 25 Βιολόγους εκπαιδευτικούς εν ενεργεία. Διαπίστωσε λοιπόν πως οι αντιλήψεις μαθητών και

εκπαιδευτικών για τη γενετική και ειδικότερα για τις έννοιες του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας χαρακτηρίζονται από εννοιολογική ποικιλότητα και παρανοήσεις που συχνά δυσχεραίνουν τη διδασκαλία και κατανόηση της γενετικής. Οι μαθητές φαίνεται να δυσκολεύονται να συνδέσουν τα διάφορα οργανωτικά επίπεδα της γενετικής λειτουργίας, όπως το μοριακό και το φαινοτυπικό επίπεδο, και συχνά αγνοούν τον ρόλο των πρωτεϊνών στη διαμεσολάβηση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου. Επίσης, παρατηρείται ότι η έννοια του γονιδίου συνδέεται κυρίως με τον ρόλο του ως φορέα πληροφορίας και τμήματος DNA, ενώ η δυναμική των γονιδιακών διαδικασιών δεν αποσαφηνίζεται επαρκώς.

Η διατριβή προτείνει την ενσωμάτωση μιας ιστορικής και εξελικτικής οπτικής στις εκπαιδευτικές πρακτικές, αναδεικνύοντας τη σημασία των πολλαπλών μοντέλων κατανόησης του γονιδίου μέσα από την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης. Μια τέτοια προσέγγιση ενισχύει τον επιστημονικό γραμματισμό των μαθητών και τους προετοιμάζει για τη διαχείριση κοινωνικών και ηθικών ζητημάτων που σχετίζονται με τη γενετική τεχνολογία, διευρύνοντας την κατανόηση τους πέρα από το κλασικό πλαίσιο της βιολογίας.

Σε γενικές γραμμές, μέσα από τις περισσότερες σύγχρονες έρευνες διαφαίνεται ότι οι αντιλήψεις και οι στάσεις των μαθητών σχετικά με τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με διάφορους παράγοντες, με πιο σημαντικούς τους εξής (Kloser, 2012) :

- ✓ ηλικία
- ✓ εκπαιδευτικό επίπεδο
- ✓ διδασκαλία

1. πρόσβαση σε επιστημονική γνώση

Όπως υποστηρίζουν αρκετοί μελετητές, πολλοί μαθητές παρακολουθούν τα μαθήματα βιολογίας με προϋπάρχουσες, συχνά εσφαλμένες , αντιλήψεις για τη Γενετική και την Κληρονομικότητα. Παράλληλα, υποστηρίζεται ότι οι έννοιες της επικρατούσας και υπολειπόμενης κληρονομικότητας, των γονιδίων και των αλληλόμορφων δεν μπορούν να κατανοηθούν εύκολα από τους μαθητές. Επίσης, η διαφορά μεταξύ γονιδιακών και περιβαλλοντικών επιδράσεων συχνά δεν είναι σαφής. Παράλληλα, οι μαθητές που κατανοούν καλύτερα τις έννοιες της Γενετικής τείνουν να έχουν θετικότερη στάση

απέναντι σε επιστημονικά θέματα και στη σημασία της Γενετικής στην καθημερινή ζωή. Από την άλλη, όσοι δυσκολεύονται να κατανοήσουν τις έννοιες, μπορεί να προσεγγίζουν με αδιαφορία ή αρνητισμό τα συγκεκριμένα θέματα (Hartono et al, 2023).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση διαδραστικών μεθόδων διδασκαλίας, όπως εργαστηριακές ασκήσεις, προσομοιώσεις και συζητήσεις, μπορεί να βελτιώσει την κατανόηση των μαθητών και να διορθώσει τις κάθε είδους εσφαλμένες αντιλήψεις. Σε αρκετές περιπτώσεις οι μαθητές αναπτύσσουν απόψεις για τη Γενετική που επηρεάζονται από ηθικά διλήμματα, όπως η κλωνοποίηση ή η γενετική μηχανική (Jafarova, 2019). Οι συγκεκριμένες στάσεις μπορεί να διαφέρουν σημαντικά και επηρεάζονται από τις πολιτισμικές και θρησκευτικές τους πεποιθήσεις. Πρέπει να επισημανθεί, λοιπόν, ότι η ενίσχυση της επιστημονικής παιδείας και η καλλιέργεια κριτικής σκέψης μέσω του εκπαιδευτικού συστήματος μπορούν να συμβάλλουν στη διαμόρφωση σωστών αντιλήψεων και θετικών στάσεων απέναντι στις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας (Hartono et al. 2023).

3.2 Αντιλήψεις και στάσεις εκπαιδευτικών για τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί έντονος διάλογος στον χώρο της εκπαίδευσης, προκειμένου να διερευνηθούν οι στάσεις και οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών ως προς τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Η Βιολογία συγκαταλέγεται στις Φυσικές Επιστήμες και για τον λόγο αυτό αρκετοί ερευνητές επιχειρούν να την προσεγγίσουν ως ανεξάρτητο μάθημα στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Ειδικότερα, επειδή η κατανόηση της γενετικής από το κοινό θεωρείται αναγκαία αναγκαία για τους πολίτες που ζουν στον 21^ο αιώνα, η γενετική θεωρείται ότι αποτελεί σημαντική και κρίσιμη παράμετρο του επιστημονικού γραμματισμού. Ταυτόχρονα, υποστηρίζεται ότι η εφαρμογή και οι επιπτώσεις της γενετικής αναδεικνύουν την ανάγκη της καλύτερης κατανόησης του γενετικού αλφαριθμητισμού. Οι γνώσεις για τη γενετική έχουν προσεγγιστεί ως οι απαιτούμενες γνώσεις στη γενετική, ενώ η χρήση αυτών των γνώσεων είναι σημαντική

για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για προσωπική ευημερία, η οποία μπορεί να προωθήσει την αποτελεσματική συμμετοχή σε κοινωνικά ζητήματα (Bowling et al, 2008).

Πιο συγκεκριμένα στις περισσότερες έρευνες για τις αντιλήψεις και τις στάσεις των εκπαιδευτικών σχετικά με τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας διερευνάται το πώς οι εκπαιδευτικοί κατανοούν αυτές τις επιστημονικές έννοιες αλλά και το πώς η κατανόησή τους επηρεάζει τη διδασκαλία τους. Οι έρευνες αυτές θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς οι εκπαιδευτικοί αποτελούν βασικό παράγοντα διαμόρφωσης της επιστημονικής σκέψης των μαθητών, ενώ παράλληλα επισημαίνεται ότι η γνώση τους πάνω σε θέματα γενετικής μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ποιότητα της εκπαίδευσης που προσφέρουν (Armstrong et al, 2007). Σε μία σύγχρονη έρευνα, υποστηρίζεται ότι στο πλαίσιο αυτό σε διεθνές επίπεδο πολλές μελέτες δίνουν έμφαση στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τη διδασκαλία της εξέλιξης και της γενετικής. Κατά συνέπεια, οι απαιτούμενες δεξιότητες για την κατανόηση των γενετικών φαινομένων και τη μεταφορά της γνώσης σε πραγματικές καταστάσεις αποτελούν μία βασική παράμετρο του επιστημονικού αλφαριθμητισμού του 21ου αιώνα (Aivelo & Uitto, 2018).

Τα διάφορα κοινωνικοεπιστημονικά θέματα (επισημαίνονται ολόένα και περισσότερο στα προγράμματα σπουδών των φυσικών επιστημών, παρόλο που οι εκπαιδευτικοί έχουν χαμηλό ενδιαφέρον για την υιοθέτηση αυτών των θεμάτων στην εκπαιδευτική διαδικασία. Επίσης, περιορισμένες θεωρούνται οι γνώσεις για τον τρόπο με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί επιλέγουν το περιεχόμενο της διδασκαλίας τους, αν και η διαδικασία αυτή μεταφράζει τα προγράμματα σπουδών στη διδακτική πράξη. Οι ερευνητές σε αυτή τη μελέτη διερεύνησαν τον τρόπο με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί επιλέγουν το περιεχόμενο και τα πλαίσια για τα μαθήματα βιολογίας σχετικά με τη γενετική και την κληρονομικότητα με την αξιοποίηση του ερευνητικού εργαλείου της συνέντευξης σε δέκα Φινλανδούς εκπαιδευτικούς στον χώρο της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Aivelo & Uitto, 2018).

Κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας ορισμένοι εκπαιδευτικοί προσέγγισαν τη διδασκαλία της γενετικής στο ανθρώπινο πλαίσιο, ενώ άλλοι απέφυγαν αυτή την προσέγγιση. Οι εκπαιδευτικοί αιτιολόγησαν την αποφυγή τους για προσωπικούς και παιδαγωγικούς παράγοντες, όπως η ικανότητά τους στην αντιμετώπιση αυτών των πλαισίων (Aivelo & Uitto, 2018).

Η εμπειρία έπαιξε ρόλο στην προσέγγιση που είχαν οι εκπαιδευτικοί, και σε αντίθεση με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών, οι λιγότερο έμπειροι εκπαιδευτικοί εμφανίστηκαν περισσότερο ανοικτοί στον διάλογο για το θέμα της ανθρώπινης γενετικής. Συμπερασματικά, επεσήμαναν ότι η ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών είναι σημαντική για να ενθαρρυνθούν οι εκπαιδευτικοί να υιοθετήσουν μια διδασκαλία περισσότερο προσανατολισμένη στα ποικίλα κοινωνικοεπιστημονικά θέματα (Aivelo & Uitto, 2018).

Σε μία παρόμοια έρευνα, η οποία επισημάνθηκε και σε προηγούμενες ενότητες, σκοπός ήταν να προσδιοριστεί το επίπεδο γενετικού αλφαριθμητισμού και η στάση των εκπαιδευτικών απέναντι στη γενετική κοινωνία. Για την υλοποίηση του ερευνητικού σκοπού και τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν το εργαλείο αξιολόγησης του γενετικού γραμματισμού και η κλίμακα στάσεων για τη γενετική. Οι συμμετέχοντες εκπαιδευτικοί φυσικών επιστημών είχαν αρκετά ευνοϊκή στάση απέναντι στη γενετική, αν και διακρίνονταν για το σχετικά χαμηλό επίπεδο γενετικού γραμματισμού. Τα επίπεδα των γνώσεών τους σε σχέση με τις διαστάσεις του εργαλείου αξιολόγησης του γενετικού γραμματισμού διέφεραν. Ειδικότερα, επισημάνθηκε ότι είχαν περισσότερες γνώσεις σχετικά με τη μετάδοση των γονιδίων και τη φύση του γενετικού υλικού, συγκριτικά με τις διαστάσεις της γονιδιακής έκφρασης, της γονιδιακής ρύθμισης και της εξέλιξης. Το επίπεδο των γνώσεών τους για τις διαστάσεις της γενετικής και ήταν σχετικά χαμηλό, υποδεικνύοντας με τον τρόπο αυτό την περιορισμένη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ γενετικής και κοινωνίας (Cebesoy & Tekkaya, 2012).

Είναι σαφές, λοιπόν, ότι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τα θέματα της Γενετικής και της κληρονομικότητας είναι σημαντικές, καθώς επηρεάζουν με άμεσο τρόπο την ποιότητα της διδασκαλίας και τη μάθηση των μαθητών. Παρά την εκπαίδευσή τους, πολλοί εκπαιδευτικοί μπορεί να δυσκολεύονται να κατανοήσουν

πλήρως τις σύγχρονες εξελίξεις στη Γενετική, όπως η γονιδιακή έκφραση, η επιγενετική και η χρήση της γενετικής μηχανικής. Οι δυσκολίες αυτές μπορούν να αποδοθούν στην ταχύτατη εξέλιξη της Γενετικής επιστήμης, η οποία απαιτεί συνεχή επιμόρφωση. Επίσης, επισημαίνεται ότι η διδασκαλία διαφόρων περίπλοκων εννοιών, όπως οι γονότυποι, οι φαινότυποι, η επικρατούσα και υπολειπόμενη κληρονομικότητα, και οι γενετικές ασθένειες μπορεί να προσεγγιστεί ως μία σημαντική πρόκληση (Connell et al, 2006).

Για τον λόγο αυτό οι εκπαιδευτικοί καλούνται να εντοπίσουν τις κατάλληλες πρακτικές, προκειμένου να απλοποιήσουν αυτά τα θέματα, χωρίς να περιοριστεί η επιστημονική ακρίβεια τους. Επιπλέον, θεωρείται ότι οι προσωπικές στάσεις των εκπαιδευτικών απέναντι σε ηθικά και κοινωνικά ζητήματα της Γενετικής, όπως η κλωνοποίηση, η γονιδιακή θεραπεία και η γενετική τροποποίηση οργανισμών, μπορεί να επηρεάσουν τον τρόπο που διδάσκουν αυτά τα θέματα. Σε αρκετές περιπτώσεις ορισμένοι εκπαιδευτικοί μπορεί να διστάζουν να εξετάσουν τέτοια θέματα λόγω των ηθικών τους ανησυχιών ή των αντιδράσεων των μαθητών και των γονέων (Dawson & Venville, 2010).

Ιδιαίτερη αναφορά, όμως, πρέπει να γίνει στην ανάγκη διαρκούς επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών σε θέματα Γενετικής είναι απαραίτητη για την ανανέωση των γνώσεών τους. Όμως, υπάρχουν συχνά περιορισμοί στην πρόσβαση σε τέτοιες ευκαιρίες επιμόρφωσης, είτε λόγω έλλειψης χρόνου είτε λόγω περιορισμένων πόρων. Επιπλέον, υποστηρίζεται ότι οι εκπαιδευτικοί που ενσωματώνουν σύγχρονες διδακτικές πρακτικές, όπως η χρήση εργαστηριακών ασκήσεων, προσομοιώσεων και πολυμέσων, τείνουν να έχουν μεγαλύτερη επιτυχία στη διδασκαλία της Γενετικής. Αυτές οι πρακτικές θεωρείται ότι μπορούν να συμβάλουν στην ενίσχυση της κατανόησης των μαθητών και στη διόρθωση των διαφόρων εσφαλμένων αντιλήψεων (Elkhidir, 2020).

Πρέπει να επισημανθεί ότι το αναλυτικό πρόγραμμα μπορεί να περιορίζει το εύρος και το βάθος με το οποίο διδάσκονται οι έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας. Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να ισορροπήσουν τις απαιτήσεις του προγράμματος με την ανάγκη για ουσιαστική κατανόηση των μαθητών. Για τον λόγο αυτό το ενδιαφέρον πρέπει να εστιαστεί στην ανάγκη για διαρκή επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στις έννοιες της γενετικής και της κληρονομικότητας, καθώς και για την

ανάπτυξη κατάλληλων εκπαιδευτικών υλικών και μεθόδων διδασκαλίας. Είναι σαφές ότι οι εκπαιδευτικοί διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκπαίδευση γύρω από τη Γενετική και την Κληρονομικότητα. Κατά συνέπεια, η διαρκής επιμόρφωση και η ενίσχυση της κατανόησης των επιστημονικών εξελίξεων θεωρούνται σημαντικές για να μπορέσουν να μεταδώσουν αποτελεσματικά τις γνώσεις αυτές στους μαθητές (El-Hani, 2015).

Η πλέον πρόσφατη έρευνα για το θέμα στον ελληνικό χώρο (Τσόπογλου-Γκίνα 2023) καταδεικνύει ότι οι εκπαιδευτικοί υιοθετούν κυρίως το νεοκλασικό μοντέλο, που επικεντρώνεται στο γονίδιο ως τμήμα του DNA και πληροφοριακή μονάδα, κάτι που περιορίζει τη διδακτική προσέγγιση. Η αναπαραγωγή αυτού του μοντέλου ενισχύει απλοϊκές αντιλήψεις στους μαθητές, όπως ο γενετικός ντετερμινισμός, και συχνά δυσκολεύει την εμβάθυνση στη σύγχρονη πολυπλοκότητα της γονιδιακής λειτουργίας.

Στη χώρα μας συνολικά οι έρευνες για το συγκεκριμένο θέμα είναι περιορισμένες και για τον λόγο αυτό μπορεί να κατανοηθεί η σημασία αυτής της ερευνητικής προσπάθειας, μέσα από την οποία αναδεικνύεται η ανάγκη εμπλουτισμού των γνώσεων των εκπαιδευτικών για τη γενετική και την κληρονομικότητα, μέσω της διεύρυνσης των επιμορφωτικών σεμιναρίων και των προγραμμάτων κατάρτισης (Μπόμπολα, κ.α, 2008).

Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση των αντιλήψεων των Ελλήνων μαθητών και εκπαιδευτικών για τις έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση και τη διδασκαλία αυτών των θεμάτων στη χώρα μας. Τόσο οι μαθητές όσο και οι εκπαιδευτικοί εμφανίζουν συχνά εσφαλμένες αντιλήψεις σχετικά με βασικές έννοιες της Γενετικής και της Κληρονομικότητας. Αυτές περιλαμβάνουν την κατανόηση της γονιδιακής κληρονομικότητας, της επίδρασης του περιβάλλοντος στα γονίδια και τη διαφοροποίηση μεταξύ γονιδίων και χαρακτηριστικών. Πέρα από αυτά, παρά την ενσωμάτωση της Γενετικής στο σχολικό πρόγραμμα, υπάρχει μια γενική έλλειψη ουσιαστικής κατανόησης των θεμελιωδών αρχών. Με τον τρόπο αυτό επισημαίνεται ότι οι μαθητές συχνά απομνημονεύουν έννοιες, χωρίς να μπορούν να τις κατανοήσουν πλήρως.

Επιπλέον, οι εκπαιδευτικοί αναγνωρίζουν τη σημασία της Γενετικής, αλλά συχνά νιώθουν την ανάγκη για περαιτέρω επιμόρφωση, ειδικά σε νέες επιστημονικές εξελίξεις. Η συνεχής εκπαίδευση τους θα μπορούσε να βοηθήσει στη βελτίωση της διδασκαλίας και στην αντιμετώπιση των προαναφερθέντων εσφαλμένων αντιλήψεων. Είναι σαφές ότι οι εκπαιδευτικοί αντιμετωπίζουν προκλήσεις στην απλοποίηση σύνθετων εννοιών της Γενετικής, διατηρώντας παράλληλα την επιστημονική ακρίβεια. Η έλλειψη κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού και η περιορισμένη χρήση σύγχρονων διδακτικών μεθόδων, όπως οι εργαστηριακές ασκήσεις και οι ψηφιακές προσομοιώσεις, μπορεί να δημιουργήσουν περισσότερα προβλήματα. Παράλληλα, θεωρείται ότι η διδασκαλία της Γενετικής δεν περιορίζεται μόνο στις επιστημονικές γνώσεις αλλά επεκτείνεται και σε ηθικά και κοινωνικά ζητήματα, όπως η κλωνοποίηση και η γενετική τροποποίηση. Οι προσωπικές απόψεις των εκπαιδευτικών επηρεάζουν τον τρόπο που παρουσιάζονται αυτά τα θέματα, ενώ οι μαθητές συχνά διαμορφώνουν στάσεις που αντανakλούν τις κοινωνικές και πολιτισμικές τους πεποιθήσεις.

Στους πρωταρχικούς στόχους της εκπαίδευσης διεθνώς, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο επιστημονικός εγγραμματισμός, με σημαντικό τον εγγραμματισμό σε θέματα γενετικής. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, συλλέχθηκε βιβλιογραφία σχετική με τις αντιλήψεις μαθητών και εκπαιδευτικών για το γονίδιο, και πραγματοποιήθηκε μετα-ανάλυση των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να ανιχνευθούν τα πέντε ιστορικά πολλαπλά μοντέλα για το γονίδιο και τη λειτουργία του σε αυτές.

Παρά την αυξανόμενη ανάγκη για επιστημονικά εγγράμματος πολίτες, η βιβλιογραφία παρουσιάζει συστηματικές δυσκολίες και παρανοήσεις μαθητών και εκπαιδευτικών στη γενετική, και αντιλήψεις στις οποίες αντικατοπτρίζονται παλαιότερα ιστορικά μοντέλα του γονιδίου και της λειτουργίας του, με σύγχρονες έννοιες να εκλείπουν.

Με την αξιολόγηση των δεδομένων των σχετικών ερευνών αναδεικνύεται η ανάγκη ανάπτυξης πιο στοχευμένων εκπαιδευτικών προγραμμάτων, στα οποία θα συμπεριλαμβάνονται σύγχρονες διδακτικές μέθοδοι και μέθοδοι και επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών. Επιπλέον, η εισαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων και διαδραστικών μαθημάτων υποστηρίζεται ότι θα μπορούσε να βελτιώσει την κατανόηση των μαθητών. Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι σαφής είναι η ανάγκη να αναθεωρηθεί και να εμπλουτισθεί η διδασκαλία της Γενετικής στη χώρα μας, με στόχο την καλύτερη κατανόηση και την ανάπτυξη κριτικής σκέψης στους μαθητές, καθώς και την επαγγελματική ανάπτυξη τους.

Βιβλιογραφία-Πηγές

- Αμπραχίμ, Κ. Δ. & Φυτιλάκος, Ι. (2023). Σχεδιασμός και υλοποίηση διδακτικού σεναρίου για τη διδασκαλία των ομάδων αίματος. σε Πολύζος, Α. & Παπαδέλη, Ε. (2023). *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Η Βιολογία στην Εκπαίδευση»*. Πανελλήνια Ένωση Βιοεπιστημόνων. Αθήνα, 15-17/12/2023
- Αθανασίου, Κ. (2015). *Διδακτική της Βιολογίας*. Κάλλιπος.
<http://hdl.handle.net/11419/4794>
- Γεωργάτου, Μ. (2008). *Αναπτυξιακή εξήγηση και αιτιότητα: Το επιστημολογικό πλαίσιο γενετικών και επιγενετικών εξηγήσεων της ανάπτυξης των οργανισμών*. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λαντζούνη, Μ. Σωτηροπούλου, Α. Δημοπούλου, Α. Πολύζος, Α. & Πουλόπουλος, Α. (2023). Ποιος χρωμάτισε τα ρούχα της Wednesday; Μια δραστηριότητα - παιχνίδι για μαθητές δημοτικού και γυμνασίου με απλά πειράματα φυσικών επιστημών. σε Πολύζος, Α. & Παπαδέλη, Ε. (2023). *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Η Βιολογία στην Εκπαίδευση»*. Πανελλήνια Ένωση Βιοεπιστημόνων. Αθήνα, 15-17/12/2023
- Μοσχογιάννη, Μ. Σκορδούλης, Κ. & Γεωργίου, Γ. (2023). Από την ανακάλυψη του μικροσκοπίου μέχρι τα σύγχρονα εικονικά εργαστήρια: Διδακτική προσέγγιση για την ιστορία της μικροσκοπίας. σε Πολύζος, Α. & Παπαδέλη, Ε. (2023). *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Η Βιολογία στην Εκπαίδευση»*. Πανελλήνια Ένωση Βιοεπιστημόνων. Αθήνα, 15-17/12/2023
- Πολύζος, Α. & Παπαδέλη, Ε. (2023). *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Η Βιολογία στην Εκπαίδευση»*. Πανελλήνια Ένωση Βιοεπιστημόνων. Αθήνα, 15-17/12/2023
- Φωτιάδου, Α. & Μιχαλάτου, Ε. (2023). Κυτταρογενετική – Αποτυπώματα DNA: Μία βιωματική προσέγγιση μέσα στη σχολική αίθουσα. σε Πολύζος, Α. & Παπαδέλη, Ε. (2023). *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Η Βιολογία στην Εκπαίδευση»*. Πανελλήνια Ένωση Βιοεπιστημόνων. Αθήνα, 15-17/12/2023
- Aikens, M. L. (2020). Meeting the needs of a changing landscape: Advances and challenges in undergraduate biology education. *Bulletin of Mathematical*

Biology, 82(5), 60. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11538-020-00739-6>

Aivelo, T. & Uitto, A. (2018). Teachers' approaches to genetics teaching mirror their perceptions of teaching controversial, societal and sensitive issues, *Biorxiv*. doi: <https://doi.org/10.1101/350710>

Aivelo, T., & Uitto, A. (2019). Teachers' choice of content and consideration of controversial and sensitive issues in teaching of secondary school genetics. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2716-2735. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1694195>

Aivelo, T. & Uitto, A. (2021). Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science Education*. 43 (9). <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1917789>

Armstrong, N., Chang, S., & Brickman, P. (2007). Cooperative learning in industrial-sized biology classes. *CBE- Life Sciences Education*, 6(2), 163–171. <https://doi.org/10.1187/cbe.06-11-0200>

Banet, E. & Ayuso, G. E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373-407. <https://doi.org/10.1080/09500690210145716>

Bartos, S. A., & Lederman, N. G. (2014). Teachers' knowledge structures for nature of science and scientific inquiry: Conceptions and classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(9), 1150-1184. <https://doi.org/10.1002/tea.21168>

Bizzarri, M., Palombo, A., & Cucina, A. (2013). Theoretical aspects of systems biology. *Progress in biophysics and molecular biology*, 112(1-2), 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2013.03.019>

Bonduriansky, R. (2012). Rethinking heredity, again. *Trends in ecology & evolution*, 27(6), 330-336. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.02.003>

Cebesoy, Ü. B., & Tekkaya, C. (2012). Pre-service science teachers' genetic literacy level and attitudes towards genetics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 31, 56-60. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.016>

- Colon-Berlingeri, M., & Burrowes, P. A. (2011). Teaching biology through statistics: application of statistical methods in genetics and zoology courses. *CBE—Life Sciences Education*, 10(3), 259-267. <https://doi.org/10.1187/cbe.10-11-0137>
- Connell, G. L., Donovan, D. A., & Chambers, T. G. (2016). Increasing the Use of Student-Centered Pedagogies from Moderate to High Improves Student Learning and Attitudes about Biology. *CBE- Life Sciences Education*, 15(1), ar3. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-03-0062>
- Dawson, V. M., & Venville, G. (2010). Teaching strategies for developing students' argumentation skills about socioscientific issues in high school genetics. *Research in Science Education*, 40, 133-148. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-008-9104-y>
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1993). *Οι ιδέες των παιδιών στις Φυσικές Επιστήμες*, Αθήνα, Εκδόσεις Τροχαλία
- Drivers, R. Squires, A. Rushworth, P. & Wood – Robinson, v. (1998). *Οικοδομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα, Τυπωθήτω
- El-Hani, C. N. (2015). Mendel in genetics teaching: some contributions from history of science and articles for teachers. *Science & Education*, 24, 173-204. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-014-9685-y>
- Elkhidir, N. (2020). Effective Teaching strategies in biological education: present and future prospects. *Open Science Journal*, 5(4). <https://doi.org/10.23954/osj.v5i4.2550>
- Gayon, J. (2016). From Mendel to epigenetics: History of genetics. *Comptes rendus biologiques*, 339(7-8), 225-230. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069116300646>
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2007). Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science & Education*, 16, 849-881. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-006-9064-4>
- Gerstein, M. B., Bruce, C., Rozowsky, J. S., Zheng, D., Du, J., Korbel, J. O., ... & Snyder, M. (2007). What is a gene, post-ENCODE? History and updated

- definition. *Genome research*, 17(6), 669-681.
<https://genome.cshlp.org/content/17/6/669.short>
- Goodenough, A., Scott, J., Cameron, G., Hawkins, D., Luck, M., Koenig, J., ... & Goodwin, M. (2022). *Biological Science: exploring the science of life*. Oxford University Press.
- Grigoriadou, V. J., Coutelieris, F. A., & Theologou, K. (2021). History of the concept of similarity in natural sciences. *Conatus-Journal of Philosophy*, 6(1), 101-123.
<https://doi.org/10.12681/cjp.22955>
- Gupta, P. K. (2019). Teaching genetics in India: Problems and possible solutions. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 79(Sup-01), 326-339.
<https://www.isgpb.org/journal/index.php/IJGPB/article/view/3175>
- Harper, L. (2005). Epigenetic inheritance and the intergenerational transfer of experience. *Psychological bulletin*, 131(3), 340-360.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.340>
- Hartono, A., Djulia, E., Hasruddin, H., & Jayanti, U. N. A. D. (2023). Biology Students' Science Literacy Level on Genetic Concepts. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(1), 146-152. <https://journal.unnes.ac.id/nju/jpii/article/view/39941>
- Holt, E. A., Young, C. A., Keetch, J., Larsen, S., & Mollner, B. (2015). The greatest learning return on your pedagogical investment: alignment, assessment or In-Class instruction? *PLOS ONE*, 10(9), e0137446.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137446>
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ... & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 75(1), 3-35.
<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/04-0922>
- Jafarova, S (2019). Actual Problems in Teaching Biology. *International Conference, The Great Czech Educator Jan Amos Komensky: A Classic and Modern Approach to Education*, 106-113.
- Johnson, T., Lithgow, G., Murakami, S., & Shook. (2007). Genetics. In *Elsevier eBooks* (pp. 610–619). <https://doi.org/10.1016/b0-12-370870-2/00206-7>

- Kloser, M. J. (2012). A place for the nature of biology in biology education. *The Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*, 16(1), 1-18. <https://ejrsme.icrsme.com/article/view/10994>
- Koçulu, A., & Topçu, M. S. (2021). Socio-Scientific Issues in Education for Sustainable Development. *Different Perspectives on Environmental Education; ISRES: Konya, Turkey*, 135-145. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED618475.pdf#page=140>
- Κόκκοτας Π. Β. (1998). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών*. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Κοντογιαννοπούλου-Πολυδωρίδη, Γ., Σολομών, Ι. & Στάμελος Γ. (2000). *Ανιχνεύοντας την Επίδοση στην Ελληνική Εκπαίδευση. Η Τρίτη Διεθνής Έρευνα της IEA για την Αξιολόγηση της Εκπαιδευτικής Επίδοσης στα Μαθηματικά και στις Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Koumparou, E., Kyriakoudi, M. & Athanasiou, K. (2011). *Evolution of Greek students' ideas on Genetics and Inheritance. Conference Paper*. Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες, σελ. 414-421
- Lawson, R. M. (2021). *Science in the Ancient World: From Antiquity Through the Middle Ages*. Bloomsbury Publishing USA.
- Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. (2014). Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. *Science & Education*, 23, 285-302. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-012-9503-3>
- Little, M. D. (2013). Embracing the “New” AP Biology Curriculum. *The american biology Teacher*, 75(5), 308-308. <https://doi.org/10.1525/abt.2013.75.5.1>
- Maurel, M. C., & Kanellopoulos-Langevin, C. (2008). Heredity—venturing beyond genetics. *Biology of reproduction*, 79(1), 2-8. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.065607>

- Mead, R., Hejmadi, M., & Hurst, L. D. (2017). Teaching genetics prior to teaching evolution improves evolution understanding but not acceptance. *PLoS biology*, 15(5), e2002255. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2002255>
- Moon, K., & Blackman, D. (2014). A guide to understanding social science research for natural scientists. *Conservation biology*, 28(5), 1167-1177. <https://doi.org/10.1111/cobi.12326>
- Μπόμπολα Αικ. Π. Παπαδοπούλου & Κ. Αθανασίου (2008). Η διδασκαλία της Βιολογίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: τα χαρακτηριστικά, η εκτιμώμενη επάρκεια και οι παιδαγωγικές επιλογές των εκπαιδευτικών. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 159, 46-64.
- Müller-Wille, S. (2021). Gregor Mendel and the history of heredity. In M. R. Dietrich, M. E. Borrello & O. Harman (Eds.), *Handbook of the Historiography of Biology. Historiographies of Science* (pp. 105–126). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90119-0_8
- National Research Council, Division on Earth, Life Studies, Board on Life Sciences, Committee on a New Biology for the 21st Century, & Ensuring the United States Leads the Coming Biology Revolution. (2009). *A new biology for the 21st century*. National Academies Press.
- Patterson, B. F., & Ewing, M. (2013). *Validating the Use of AP® Exam Scores for College Course Placement. Research Report 2013-2*. College Board. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED558108.pdf>
- Rögele, A. (2023). *Scientific Reasoning and Citizen Science: Enabling students and adults to become scientifically literate citizens of tomorrow's society* (Doctoral dissertation, Universität Tübingen).
- Sharma, N., Paço, A., & Upadhyay, D. (2023). Option or necessity: Role of environmental education as transformative change agent. *Evaluation and Program Planning*, 97, 102244. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2023.102244>

- Smith, L. A. & Williams, J. M. (2007). "It's the X and Y Thing": Cross-sectional and Longitudinal Changes in Children's Understanding of Genes. *Research in Science Education*, 37, 407–422
- Smith, M. K. & Wood, W. B. (2016). Teaching Genetics: Past, Present, and Future. *Genetics*. 2016 Sep; 204(1): 5–10. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.187138>
- Sommer, R. J., & Mayer, M. G. (2015). Toward a synthesis of developmental biology with evolutionary theory and ecology. *Annual review of cell and developmental biology*, 31, 453-471. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-102314-112451>
- Stern, F., & Kampourakis, K. (2017). Teaching for genetics literacy in the post-genomic era. *Studies in Science Education*, 53(2), 193-225. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1392731>
- Torday, J. S., & Rehan, V. K. (2017). *Evolution, the logic of biology*. John Wiley & Sons.
- Ward, G., & Haigh, M. (2017). Challenges and changes: developing teachers' and initial teacher education students' understandings of the nature of science. *Research in Science Education*, 47, 1233-1254. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9543-9>
- Tsopoglou-Gkina, D. (2023). *Ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης* [Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας].
- Waters, C. K. (2004). What was classical genetics?. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 35(4), 783-809. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2004.03.018>
- Williams, C. T., & Rudge, D. W. (2016). Emphasizing the history of genetics in an explicit and reflective approach to teaching the nature of science: A pilot study. *Science & Education*, 25, 407-427. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-016-9821-y>

- Woese C. R. (2004). A new biology for a new century. *Microbiology and molecular biology reviews*, 68(2), 173–186. <https://doi.org/10.1128/MMBR.68.2.173-186.2004>
- Wong, N., Tang, M., Redda, H., Raza, N., Bilal, H., Kannan, V., ... & Noreen, K. (2021). *The inheritance of traits: From genetics to heredity*. Golden Meteorite Press.
- Woody, S., & Himelblau, E. (2013). Understanding & teaching genetics using analogies. *The American Biology Teacher*, 75(9), 664-669. <https://doi.org/10.1525/abt.2013.75.9.7>
- Zubaidah, S., Angraini, E., & Susanto, H. (2023). TPACK-based active learning to promote digital and scientific literacy in genetics. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 13(2), 50-61. <https://mail.pegegog.net/index.php/pegegog/article/view/1870>