



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΗΠΙΑΓΩΓΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

**Ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στις
αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας
εκπαίδευσης**

Δέσποινα Τσόπογλου-Γκίνα

**Επιβλέπουσα καθηγήτρια
Παπαδοπούλου Πηνελόπη, Καθηγήτρια**

Φλώρινα, Νοέμβριος 2023



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού,
Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου ερευνητικού δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας – 2ος Κύκλος» (MIS-5000432), που υλοποιεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

Παπαδοπούλου Πηνελόπη

Καθηγήτρια στο Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Παπαδοπούλου Πηνελόπη

Καθηγήτρια στο Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Παρασκευόπουλος Στέφανος

Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος Ειδικής Αγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Αμπατζίδης Γεώργιος

Επίκουρος Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος Προσχολικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Παπαδοπούλου Πηνελόπη

Καθηγήτρια στο Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Παρασκευόπουλος Στέφανος

Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος Ειδικής Αγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Αμπατζίδης Γεώργιος

Επίκουρος Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος Προσχολικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Σπύρτου Άννα

Καθηγήτρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Παπανικολάου Αναστάσιος

Επίκουρος Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

Δημητρίου Αναστασία

Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστημών Προσχολικής Αγωγής και Εκπαίδευσης του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Πλιόγκου Βασιλική

Επίκουρη Καθηγήτρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής συνέβαλαν με το τρόπο τους πολλοί άνθρωποι με διάφορους τρόπους, στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κύρια επιβλέπουσα καθηγήτρια της διδακτορικής διατριβής, κ. Πηνελόπη Παπαδοπούλου, Καθηγήτρια στο Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Αποτέλεσε ένα πρότυπο για μένα τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο, όσο και σε προσωπικό επίπεδο. Η διορατική επιστημονική καθοδήγησή της, η ακούραστη στήριξη και εμπιστοσύνη της ήταν κινητήριες δυνάμεις που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση αυτής της διατριβής, αλλά και στην εξέλιξη των ερευνητικών οριζόντων μου. Την ευχαριστώ ολόψυχα για τις πολύτιμες ευκαιρίες που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας, στους τομείς της έρευνας, της διδασκαλίας, αλλά και της επιστημονικής σκέψης και για την ελευθερία και το σεβασμό που επέδειξε στις ερευνητικές και μη, επιλογές μου.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω την καταπληκτική ομάδα των συν-διδασκτόρων μου, Αλέξανδρου Αμπράζη και Ακριβής Χρηστίδου, που έπαιξε καταλυτικό ρόλο στην πορεία της διδακτορικής μου διατριβής. Παρά τη γεωγραφική μας απόσταση, η βοήθεια και εμπειρία του Αλέξανδρου και η άψογη συνεργασία μας με την Ακριβή αποτέλεσαν πολύτιμα στοιχεία για την ολοκλήρωση της διατριβής μου, πάντα μέσα από διαρκή αλληλοϋποστήριξη και επικοινωνία. Τέλος, δεν θα μπορούσε να υπάρξει καλύτερη παρέα για τα ταξίδια με αφορμή τα συνέδρια.

Ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να αποδώσω στον κ. Δημήτρη Σχίζα, Επίκουρο Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που μου έδωσε το έναυσμα για την εκκίνηση του ταξιδιού της διδακτορικής μου διατριβής, δίνοντάς μου έτσι τη ψήφο εμπιστοσύνης του.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους οι οποίοι πλαισίωσαν ουσιαστικά και καθοδηγητικά την τριμελή επιτροπή, τον κ. Στέφανο Παρασκευόπουλο, Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος Ειδικής Αγωγής και τον κ. Γεώργιο Αμπατζίδη, Επίκουρο Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος Προσχολικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ευχαριστίες οφείλω και στα υπόλοιπα μέλη της εφταμελούς επιτροπής την αείμνηστη Άννα Σπύρτου, Καθηγήτρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, τον κ. Παπανικολάου Αναστάσιο, Επίκουρο Καθηγητή του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, την κ. Αναστασία Δημητρίου, Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστημών

Προσχολικής Αγωγής και Εκπαίδευσης του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, και την κ. Βασιλική Πλιόγκου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, που σφράγισαν το τέλος αυτού του ταξιδιού.

Η επίτευξη της διδακτορικής διατριβής δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη διαρκή στήριξη, εμπύχωση και αγάπη των πιο κοντινών μου ανθρώπων, του αδερφού μου Νίκου και των γονιών μου Χιονάτης και Σταύρου, που ήταν καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνάς μου κοντά μου στις ευκολίες αλλά και στις δυσκολίες της διαδρομής αυτής.

Ακόμα, ευχαριστώ τον Αναστάση, που ήταν δίπλα μου, σύντροφός μου σε κάθε βήμα αυτή της διαδρομής και μου στάθηκε σε κάθε πτυχή της καθημερινότητάς μου.

Ευχαριστώ, τέλος, τις φίλες και τους φίλους μου που με στήριξαν η καθεμιά και ο καθένας με τον δικό τους τρόπο. Την Αθηνά, για το παράδειγμα δημιουργικότητας και αποφασιστικότητας που θαυμάζω απεριόριστα. Την Ουτρεχτιανή και (κατά πλειοψηφία) πλέον Αθηναϊκή μου παρέα Αρελίνα, Δέσποινα Σ., Δέσποινα Χ., Σπύρο και Τζίνα, που αποτελούν σημείο αναφοράς μου, στήριγμά μου και πηγή αμέριστης αγάπης και εκτίμησης. Τη Σοφριτο-φοιτητο-δοκτωρο-παρέα Αλεξία, Γιώτα, Γκάρυ, Δάφνη, Εύη, Μαριανίνα, και Δημήτρη που αν και διασκορπισμένες και διασκορπισμένοι στα τέσσερα σημεία του ορίζοντα καταφέρνουμε να είμαστε ενωμένες και ενωμένοι, έστω και μέσω των διεθνών ταχυδρομικών υπηρεσιών. Τέλος, τον Ασημάκη, φίλο και συνοδοιπόρο στη διδακτορική διαδρομή, που ήταν η ομάδα μου, ζώντας μακριά από το Πανεπιστήμιο, αλλά και την Άννα και τη Στέλλα, που όχι μόνο ξέρουν από ΕΣΠΑ, ήταν από τις βασικές εμπυχώτριές μου στην τελική ευθεία της συγγραφής της διδακτορικής διατριβής.

Κλείνοντας, ευχαριστώ τις συμμετέχουσες και τους συμμετέχοντες στην έρευνα που με εμπιστεύτηκαν και αφιέρωσαν τον προσωπικό χρόνο τους και που χωρίς αυτές και αυτούς η παρούσα διδακτορική διατριβή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σημασία του γενετικού γραμματισμού, πτυχή του επιστημονικού γραμματισμού, είναι ευρέως καταγεγραμμένη σε πλήθος ερευνών, και η ενσωμάτωση της γενετικής σε αναλυτικά προγράμματα σπουδών στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση διεθνώς αποδεικνύει τα βήματα που έχουν πραγματοποιηθεί για την ενίσχυσή του. Μελέτες που αναδεικνύουν αντιλήψεις μαθητριών/τών και φοιτητριών/τών, ωστόσο, υποδεικνύουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση της ορολογίας της γενετικής, εννοιολογική σύγχυση, καθώς και αδυναμία στην κατανόηση πολύπλοκων γενετικών φαινομένων και διαδικασιών σε διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα, όπως το μοριακό, το κυτταρικό και το φαινομενολογικό (φαινοτυπικό). Η εγγενής εννοιολογική ποικιλότητα σε όρους της γενετικής όπως αυτή του «γονιδίου» ή της «γονιδιακής λειτουργίας», έχοντας λάβει ιστορικά διαφορετικές ερμηνείες και εξηγήσεις, δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο τη διδασκαλία της. Στην εκπαιδευτική διαδικασία καλούνται οι εκπαιδευτικοί, πέρα από τις προαναφερθείσες δυσκολίες που έχουν να αντιμετωπίσουν, εμπόδιο αποτελούν και οι εναλλακτικές αντιλήψεις των εκπαιδευόμενων, που συχνά καλλιεργούνται και μέσω των μέσων μαζικής ενημέρωσης, του οικογενειακού περιβάλλοντος, ή άλλων άτυπων μορφών εκπαίδευσης.

Η διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών για τη γενετική είναι ευρέως διαδεδομένη στη διεθνή εκπαιδευτική έρευνα, ενώ υπάρχουν μόνο λίγες για τα ελληνικά δεδομένα. Παράλληλα, έρευνες που αφορούν στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών σε θέματα γενετικής είναι πολύ λίγες διεθνώς και απουσιάζουν για τον ελληνικό πληθυσμό. Ακόμα, κατά την αναζήτηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας καταγράφονται έρευνες που εξετάζουν αντιλήψεις για τη γενετική εκπαιδευόμενων και εκπαιδευτικών εστιάζοντας κυρίως στην ανίχνευση εναλλακτικών αντιλήψεων και παρανοήσεων, στην εκτίμηση του γενετικού ντετερμινισμού, στην κατανόηση εννοιών της γενετικής σε σχέση με συγκεκριμένη διδακτική ακολουθία, γεγονός που μπορεί να αποκλείει κάποιο στοιχείο που απαρτίζει τη δομή και λειτουργία των γονιδίων.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάζει τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών ως προς το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία με άξονα την εννοιολογική ποικιλότητα που παρουσιάζουν οι έννοιες αυτές ιστορικά, και αντιστοιχίζοντας στοιχεία από πέντε πολλαπλά ιστορικά μοντέλα που τις περιγράφουν, το Μεντελικό, το κλασικό, το βιοχημικό-κλασικό, το νεοκλασικό και το σύγχρονο μοντέλο και τα επιμέρους επιστημολογικά τους χαρακτηριστικά. Υπό το πρίσμα αυτών των μοντέλων πραγματοποιείται ποιοτική συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που μελετά αντιλήψεις μαθητριών/τών και

εκπαιδευτικών για τη γενετική διεθνώς. Συνολικά αναλύθηκαν 38 επιστημονικές δημοσιεύσεις και 11 επιστημονικά άρθρα που αφορούσαν αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών αντίστοιχα, ενώ ταξινομήθηκαν οι αντιλήψεις στα ιστορικά μοντέλα ανάλογα με τα ανιχνεύσιμα επιστημολογικά χαρακτηριστικά στις μελέτες. Η κύρια μελέτη της έρευνας αποτελείται από διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα, όπου συμμετείχαν 18 μαθήτριες/τές της Γ' Λυκείου και 25 Βιολόγοι εκπαιδευτικοί εν ενεργεία, ακολουθώντας τη θεωρητική δειγματοληψία όπου ο εμπλουτισμός των δεδομένων επιτρέπει την παράλληλη ανάλυσή τους κατά τη διεξαγωγή της έρευνας. Το ερευνητικό εργαλείο που επιλέχθηκε ήταν η ημιδομημένη συνέντευξη, ενώ η ανάλυση περιεχομένου καθοδηγούμενη από τη θεωρία και τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των μοντέλων αποτέλεσε το θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης.

Τα αποτελέσματα της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας δείχνουν να παρουσιάζονται δύο έννοιες του γονιδίου στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών για τη σχέση γονιδίου – λειτουργίας, τη Μεντελική που θεωρεί το γονίδιο ως αφηρημένη έννοια και τη νεοκλασική που το ορίζει ως φορέα πληροφορίας ή/και ως τμήμα DNA, ενώ οι μαθήτριες/τές φαίνεται να αδυνατούν να συνδέσουν διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα της γονιδιακής λειτουργίας, συνήθως χωρίς να αναφέρονται στη σχέση γονότυπου – φαινότυπου χωρίς πρωτεΐνες ως διαμεσολαβητές (κλασικό μοντέλο). Ο περιορισμένος αριθμός μελετών για αντιλήψεις εκπαιδευτικών σε θέματα γενετικής οδηγεί σε ασθενείς γενικεύσεις αποτελεσμάτων. Όσον αφορά τις αντιλήψεις των Ελληνίδων/ων μαθητριών/τών, σε αυτές αναδεικνύεται το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο, με υβριδισμό χαρακτηριστικών του κλασικού και του νεοκλασικού μοντέλου. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και σε διεθνείς έρευνες, αλλά και σε σχέση με το ιστορικό μοντέλο που επικρατεί στα ελληνικά σχολικά εγχειρίδια. Αντίστοιχα, το νεοκλασικό μοντέλο επικράτησε στις αντιλήψεις των Ελληνίδων/ων εκπαιδευτικών, συμβαδίζοντας με διεθνείς έρευνες στις οποίες συμμετείχαν Διδάκτορες Μοριακής Βιολογίας, Γενετικής και σχετικών κλάδων Βιολογίας.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής αναδεικνύουν αναλυτικά τα στοιχεία που απαρτίζουν τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών σχετικά με το γονίδιο και τη λειτουργία του, αποτελώντας μια πρώτη ταυτόχρονη εκτίμηση των αντιλήψεων για το γονίδιο σε αυτό το πλαίσιο στον ελληνικό μαθητικό και εκπαιδευτικό πληθυσμό. Επιπλέον, τα ευρήματα της έρευνας μπορούν να αποτελέσουν βάση για δημιουργία διδακτικού υλικού της γενετικής υπό την προοπτική της ιστορίας της επιστήμης και της μεταβαλλόμενης επιστημονικής γνώσης σύμφωνα με την πληροφορία για όλες τις πτυχές της γονιδιακής λειτουργίας και πως την αντιλαμβάνονται οι μαθήτριες/τές και τα ιστορικά μοντέλα.

ABSTRACT

The importance of genetic literacy, as an aspect of scientific literacy, is widely documented in numerous studies, while the integration of genetics into secondary and higher education curricula internationally emphasizes genetics' central position in science education. Studies highlighting students' perceptions, however, indicate significant difficulties in students' understanding of genetics, show conceptual confusion, and an inability to understand complex genetic phenomena and processes at different organizational levels, such as the molecular, cellular, and phenomenological (phenotypic) levels. The inherent conceptual variation in genetics' terminology such as that of 'gene' or 'gene function', having received historically different interpretations and explanations, further complicates its teaching. In addition, during the educational process, teachers face learners' alternative perceptions, often cultivated through mass media, family environment or other informal forms of education, which often present an obstacle.

The investigation of students' perceptions of genetics is widespread in international educational research compared to Greek data. At the same time, research on teachers' perceptions of genetics is quite restricted both internationally and for the Greek population. Despite the broad interest, researchers focus their studies mainly on detecting alternative perceptions and misconceptions, the assessment of genetic determinism, the understanding of genetics' concepts in relation to a specific aspect of gene function, therefore not tackling the entirety of the parts which constitute the gene function.

The present dissertation examines students' and teachers' perceptions regarding the gene and gene function, focusing on the conceptual variation of these concepts historically, while matching features from five multiple historical models, the Mendelian, classical, biochemical-classical, neoclassical, and modern models and their individual epistemological characteristics. Considering these models, a qualitative systematic review of the literature examining students' and teachers' perceptions of genetics internationally is conducted. A total of 38 scientific publications and 11 scientific articles concerning students' and teachers' perceptions respectively were analysed, and then classified into the historical models according to the detected epistemological features in the studies. At the main research study 18 12th Grade students and 25 Biology teachers participated, following the theoretical sampling method where the enrichment of the data allows their parallel analysis during the research. The research instrument chosen was the semi-structured interview, while content analysis guided by theory and epistemological model features provided the theoretical framework for analysis.

The results of the qualitative systematic review of the literature show that there are two concepts of the gene in students' and teachers' perceptions of the gene-function relationship, the Mendelian one where the gene is considered as an abstract concept, and the neoclassical where it is defined as an information carrier and/or a DNA segment. Furthermore, while students seem to be unable to link different organisational levels of gene function, as they often did not include a protein as a mediator when describing the genotype-phenotype relationship (classical model). As studies focusing on teachers' perception of genetics were scarce, only weak generalisations were able to be made. Regarding Greek students, the biochemical-classical model was dominant at their perceptions, as a hybridization of classical and neoclassical models' characteristics. Similar results have been found in international studies, but also in relation to Greek textbooks, where the same model prevailed. Moreover, the neoclassical model was found more frequently in the perceptions of Greek teachers, which is in line with international studies involving biologists holding PhDs in Molecular Biology, Genetics, and related disciplines of Biology.

The results of the present study present a detailed view of students' and teachers' perceptions of the gene and its function, constituting a first simultaneous assessment of genetics in this context in the Greek student and teacher population. Furthermore, the findings of the study can provide a basis for teaching materials' creation in genetics, from the perspective of the history of science and the changing scientific knowledge, portrayed through the conceptual variation shown through the five historical genetic models.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
1.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	18
1.2 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	20
1.3 ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	21
1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	22
1.5 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ	22
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	24
2.1 ΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	24
2.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ 27	
2.2.1 <i>Πρώιμες θεωρίες κληρονομικότητας</i>	27
2.2.1.1 Θεωρίες κληρονομικότητας στον αρχαίο κόσμο.....	28
2.2.1.2 Μεσαίωνα έως τον 18 ^ο αιώνα	29
2.2.1.3 19 ^ο ς αιώνας	30
2.2.2 <i>20^ο-21^ος αιώνας</i>	31
2.2.2.1 1900-1910 – Η ανακάλυψη του έργου του Mendel.....	31
2.2.2.2 Η χρωμοσωμική θεωρία του Morgan (1911-1941).....	33
2.2.2.3 Η μετάβαση στη μοριακή γενετική (1941-1952)	33
2.2.2.4 Το γονίδιο ως ένα τμήμα DNA (1953-1969).....	34
2.2.2.5 Η σύγχρονη θεώρηση του γονιδίου (1970-21 ^ο ς αιώνας)	35
2.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ – ΣΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	36
2.3.1 <i>Μοντέλα στην εκπαιδευτική διαδικασία</i>	36
2.3.2 <i>Μοντέλα για την έννοια του γονιδίου</i>	38
2.3.3 <i>Ιστορικά πολλαπλά μοντέλα της έννοιας και λειτουργίας του γονιδίου των Gericke και Hagberg</i> .40	
2.3.3.1 Το Μεντελικό μοντέλο (~1900-1910)	46
2.3.3.2 Το κλασικό μοντέλο (~1911-1940).....	46
2.3.3.3 Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο (~1941-1952).....	46
2.3.3.4 Το νεοκλασικό μοντέλο (~1953-1970).....	47
2.3.3.5 Το σύγχρονο μοντέλο (~1970-).....	47
2.4 Η ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	50
2.4.1 <i>Αντιλήψεις μαθητριών/τών για την έννοια του γονιδίου και τη λειτουργία του</i>	54
Έρευνες στην Ελλάδα.....	60
2.4.1.1 Εναλλακτικές ιδέες.....	62
2.4.2 <i>Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για την έννοια του γονιδίου και τη λειτουργία του</i>	67
2.4.3 <i>Η γενετική στα διδακτικά εγχειρίδια</i>	70
Σύνοψη Κεφαλαίου.....	74
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	76

3.1	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	77
3.1.1	Καθορισμός των κριτήριων εισόδου και αποκλεισμού των μελετών.....	78
3.1.2	Αξιολόγηση και επιλογή των μελετών	80
3.1.3	Καταγραφή των δεδομένων	97
3.1.4	Περιορισμοί της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης.....	97
3.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	98
3.2.1	Τα προϋπάρχοντα εργαλεία.....	98
3.2.2	Η ημιδομημένη συνέντευξη.....	101
3.2.3	Το σχέδιο της ημιδομημένης συνέντευξης.....	102
3.3	ΟΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΤΡΙΕΣ/ΤΕΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ.....	103
3.4	ΠΙΛΟΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΙΣ	109
3.5	ΚΥΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗ	110
3.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	111
3.6.1	Μεταγραφή των συνεντεύξεων.....	111
3.6.2	Θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης.....	111
3.6.3	Διαδικασία ανάλυσης.....	114
3.6.3.1	Ορισμός μονάδων δειγματοληψίας, καταγραφής/κωδικοποίησης και πλαισίου	114
3.6.3.2	Επιλογή συμμετεχουσών/όντων	115
3.6.3.3	Καταγραφή / κωδικοποίηση	116
3.6.3.4	Μείωση των δεδομένων σε διαχειρίσιμες αναπαραστάσεις.....	119
3.6.3.5	Επαγωγική εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα φαινόμενα εντός του πλαισίου	119
3.6.3.6	Αφήγηση της απάντησης στο ερευνητικό ερώτημα	120
	Σύννοψη Κεφαλαίου.....	120
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	121
4.1	ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΣΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	121
4.1.1	Μαθήτριες/τές.....	124
4.1.2	Εκπαιδευτικοί.....	131
4.2	ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΣΤΗ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	136
4.2.1	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών	139
4.2.1.1	Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1).....	139
4.2.1.2	Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2)	142
4.2.1.3	Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (3).....	146
4.2.1.4	Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4)	148
4.2.1.5	Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα (5).....	151
4.2.1.6	Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας (6).....	153
4.2.1.7	Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων (7).....	155
4.2.2	Ιστορικά μοντέλα στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών	158
4.3	ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ	163
4.3.1	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών	165
4.3.1.1	Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1).....	165
4.3.1.2	Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2)	170

4.3.1.3	Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (3).....	177
4.3.1.4	Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4)	180
4.3.1.5	Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα (5).....	183
4.3.1.6	Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας (6).....	185
4.3.1.7	Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων (7).....	189
4.3.2	Ιστορικά μοντέλα στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών	192
	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	199
5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	200
5.1	ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	200
5.1.1	<i>Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύοντας τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα; (E.E. 1)</i>	<i>200</i>
5.1.2	<i>Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύοντας τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα; (E.E. 2)</i>	<i>205</i>
	<i>ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	<i>207</i>
5.2	ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	208
5.2.1	<i>Ποια από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 3).....</i>	<i>208</i>
5.2.2	<i>Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 5)</i>	<i>211</i>
5.2.3	<i>Ποια από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 4).....</i>	<i>214</i>
5.2.4	<i>Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 6)</i>	<i>216</i>
	<i>ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i>	<i>217</i>
5.3	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ	218
5.3.1	<i>Διδακτική της γενετικής</i>	<i>218</i>
5.3.1.1	<i>Ιστορικά μοντέλα στη διδασκαλία της γενετικής.....</i>	<i>218</i>
5.3.1.2	<i>Σύγχρονες έννοιες γενετικής στη διδασκαλία της γενετικής.....</i>	<i>219</i>
5.4	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	221
5.4.1	<i>Περιορισμοί της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης.....</i>	<i>221</i>
5.4.2	<i>Επιλογή συμμετεχουσών/όντων κύριας μελέτης.....</i>	<i>222</i>
5.4.3	<i>Ερευνητικό εργαλείο – συνέντευξη.....</i>	<i>223</i>
5.4.4	<i>Μεροληψία της ερευνήτριας.....</i>	<i>223</i>
5.5	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	224
5.5.1	<i>Έννοιες γενετικής στον λόγο των εκπαιδευτικών.....</i>	<i>224</i>
5.5.2	<i>Γενετικό ντετερμινισμός σε μαθήτριες/τές και σε εκπαιδευτικούς.....</i>	<i>225</i>
	Σύνοψη Κεφαλαίου.....	225

6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	227
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	244
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ.....	244
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. ΕΝΤΥΠΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ.....	245
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ. ΜΕΤΑΓΡΑΦΗ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ.....	247
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	248
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΣΕ ΜΑΘΗΤΡΙΕΣ/ΤΕΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ.....	249

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΧΩΡΑ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟΝ KRIPPENDORFF (2019).....	114

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. <i>ΘΕΩΡΙΕΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΙΣΟ ΤΟΥ 19^{ΟΥ} ΑΙΩΝΑ</i> (ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗΣ, 2013· ΚΑΜΠΟΥΡΑΚΗΣ, 2017/2021)	31
Πίνακας 2. <i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΤΙΚΩΝ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΩΝ</i> (CHRISTIDOU & PAPADOPOULOU, 2020· GERICKE & HAGBERG, 2010B· SANTOS ET AL., 2012).....	43
Πίνακας 3. <i>ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ, ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ-ΜΕΤΑΒΑΗΤΕΣ ΠΟΥ ΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΥΝ</i> (CHRISTIDOU & PAPADOPOULOU, 2020· GERICKE & HAGBERG, 2010B· SANTOS ET AL., 2012).	45
Πίνακας 4. <i>ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΟΠΟΙΟ ΕΓΙΝΕ ΑΝΤΙΛΗΠΤΟ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ. ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟ ΑΠΟ GERICKE ΚΑΙ HAGBERG (2007)</i>	49
Πίνακας 5. <i>ΆΡΘΡΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΤΙΚΩΝ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ</i>	72
Πίνακας 6. <i>ΦΑΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΔΙΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</i>	76
Πίνακας 7. <i>ΒΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ</i> (ΠΑΤΕΛΑΡΟΥ & ΜΠΡΟΚΑΛΑΚΗ, 2010)	78
Πίνακας 8. <i>ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ</i>	79
Πίνακας 9. <i>ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (N = 38) ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΕ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΕΙΡΑ</i>	85
Πίνακας 10. <i>ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (N = 11) ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΕ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΕΙΡΑ</i>	95
Πίνακας 11. <i>ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΣΤΟΧΕΥΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ ΕΝΝΟΙΩΝ ΤΗΣ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ</i>	98
Πίνακας 12. <i>ΟΙ ΜΑΘΗΤΡΙΕΣ/ΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΙΧΑΝ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ (N = 21)</i>	103
Πίνακας 13. <i>ΔΙΔΑΚΤΕΑ ΥΛΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΑΞΕΙΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΟΠΟΥ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ, ΓΙΑ ΤΑ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ ΕΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ. ΜΕ ΠΛΑΓΙΑ ΓΡΑΦΗ ΟΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΕΤΩΝ</i> ..	104
Πίνακας 14. <i>ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΛΟΓΟΥ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ. ΜΕ ΕΝΤΟΝΗ ΓΡΑΦΗ ΔΗΛΩΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΜΕ ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ ΠΟΥ ΑΠΟΛΟΘΗΚΑΝ ΣΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</i>	117
Πίνακας 15. <i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ</i> (CHRISTIDOU & PAPADOPOULOU, 2020· GERICKE & HAGBERG, 2010B· SANTOS ET AL., 2012) <i>ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΙ Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ. Η ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ (N = 109) ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ (N = 28)</i>	123
Πίνακας 16. <i>ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (N = 38) ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΕ ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΧΩΡΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΜΕΛΕΤΗΣ</i>	125
Πίνακας 17. <i>ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΠΩΣ ΑΥΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ (N = 38) ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ. ΣΗΜΕΙΩΝΕΤΑΙ ΟΤΙ ΣΕ ΚΑΘΕ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΗ Η ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΑΠΛΩ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ</i>	129
Πίνακας 18. <i>ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ (N = 11) ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΟΝΙΔΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΑΠΟΣΠΑΣΜΑΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΕ ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ ΧΩΡΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΜΕΛΕΤΗΣ</i>	133

ΠΙΝΑΚΑΣ 19. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ (N = 11) ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ. . .	135
ΠΙΝΑΚΑΣ 20. ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΕ ΑΥΤΕΣ ΑΝΑ ΜΑΘΗΤΡΙΑ/ΤΗ.	137
ΠΙΝΑΚΑΣ 21. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ, ΟΠΩΣ ΑΥΤΑ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ.	161
ΠΙΝΑΚΑΣ 22. ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	162
ΠΙΝΑΚΑΣ 23 ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΕ ΑΥΤΕΣ ΑΝΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ.	163
ΠΙΝΑΚΑΣ 24. ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ, ΟΠΩΣ ΑΥΤΑ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ.	196
ΠΙΝΑΚΑΣ 25. ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	198
ΠΙΝΑΚΑΣ 26. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ (CHRISTIDOU & PARADOPOULOU, 2020· GERICKE & HAGBERG, 2010b· SANTOS ET AL., 2012) ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΙ Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ. Η ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ (N = 1316) ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ (N = 1731).	249

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ 1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΙΧΑΝ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ($N = 25$). (ΠΜΣ: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ)	107
ΓΡΑΦΗΜΑ 2. ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 25$) ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.	107
ΓΡΑΦΗΜΑ 3. ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 25$) ΑΝΑ ΕΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑΣ.	108
ΓΡΑΦΗΜΑ 4. ΠΛΗΘΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ($N = 109$) ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 28$), ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ, ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.	122
ΓΡΑΦΗΜΑ 5. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ($N = 38$) ΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ. ΣΗΜΕΙΩΝΕΤΑΙ ΟΤΙ ΣΕ ΚΑΘΕ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΗ Η ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΑΠΛΩ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.	129
ΓΡΑΦΗΜΑ 6. ΠΛΗΘΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ($N = 109$) ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΝΑΔΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ($N = 72$). ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΚΑΝ, ΚΑΘΩΣ ΠΟΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΝΑΙ ΚΟΙΝΑ ΓΙΑ ΚΑΠΟΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.	131
ΓΡΑΦΗΜΑ 7. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ($N = 11$) ΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.	134
ΓΡΑΦΗΜΑ 8. ΠΛΗΘΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 28$) ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΝΑΔΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ($N = 12$). ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΚΑΝ, ΚΑΘΩΣ ΠΟΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΝΑΙ ΚΟΙΝΑ ΓΙΑ ΚΑΠΟΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.	136
ΓΡΑΦΗΜΑ 9. ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ($N = 1316$) ΑΝΑ ΜΑΘΗΤΡΙΑ/ΤΗ.	137
ΓΡΑΦΗΜΑ 10. ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ($N = 1316$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	138
ΓΡΑΦΗΜΑ 11. ΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ($N = 296$) ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	139
ΓΡΑΦΗΜΑ 12. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 1 ($N = 143$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	140
ΓΡΑΦΗΜΑ 13. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 2I ($N = 146$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	143
ΓΡΑΦΗΜΑ 14. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 2II ($N = 90$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	145
ΓΡΑΦΗΜΑ 15. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 3 ($N = 173$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	147
ΓΡΑΦΗΜΑ 16. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 4 ($N = 156$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	149
ΓΡΑΦΗΜΑ 17. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 5I ($N = 127$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	151
ΓΡΑΦΗΜΑ 18. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 5II ($N = 140$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	152
ΓΡΑΦΗΜΑ 19. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 6 ($N = 146$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	154
ΓΡΑΦΗΜΑ 20. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 7 ($N = 195$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	156
ΓΡΑΦΗΜΑ 21. ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ($N = 1316$) ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ, ΟΠΩΣ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ.	158
ΓΡΑΦΗΜΑ 22. ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ, ΑΝΑ ΜΑΘΗΤΡΙΑ/ΤΗ ($N = 1316$)	159
ΓΡΑΦΗΜΑ 23. ΠΛΗΘΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ΤΩΝ ($N = 1316$) ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΝΑΔΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ($N = 304$). ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ	

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΚΑΝ, ΚΑΘΩΣ ΠΟΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΝΑΙ ΚΟΙΝΑ ΓΙΑ ΚΑΠΟΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.	160
ΓΡΑΦΗΜΑ 24. ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ($N = 1731$) ΑΝΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ.	163
ΓΡΑΦΗΜΑ 25. ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ($N = 1731$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΒΙΟΛΟΓΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	164
ΓΡΑΦΗΜΑ 26. ΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ($N = 442$) ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	165
ΓΡΑΦΗΜΑ 27. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 1 ($N = 170$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	166
ΓΡΑΦΗΜΑ 28. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 2I ($N = 213$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	171
ΓΡΑΦΗΜΑ 29. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 2II ($N = 127$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	174
ΓΡΑΦΗΜΑ 30. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 3 ($N = 218$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	177
ΓΡΑΦΗΜΑ 31. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 4 ($N = 207$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	180
ΓΡΑΦΗΜΑ 32. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 5I ($N = 180$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	183
ΓΡΑΦΗΜΑ 33. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 5II ($N = 111$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	184
ΓΡΑΦΗΜΑ 34. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 6 ($N = 212$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	186
ΓΡΑΦΗΜΑ 35. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΥ 7 ($N = 293$) ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	189
ΓΡΑΦΗΜΑ 36. ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ($N = 1731$) ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ, ΟΠΩΣ ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ.	193
ΓΡΑΦΗΜΑ 37. ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ, ΑΝΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ($N = 1731$).	194
ΓΡΑΦΗΜΑ 38. ΠΛΗΘΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΟ ΓΟΝΙΔΙΟ ΚΑΙ ΤΗ ΓΟΝΙΔΙΑΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 1731$) ΚΑΙ ΤΑ ΜΟΝΑΔΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ($N = 597$). ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΟΥ ΠΛΗΘΟΥΣ ΠΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΚΑΝ, ΚΑΘΩΣ ΠΟΛΛΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΝΑΙ ΚΟΙΝΑ ΓΙΑ ΚΑΠΟΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.	195
ΓΡΑΦΗΜΑ 39. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ, ΟΠΩΣ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ ΤΩΝ ($N = 76$) ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 12$).	248
ΓΡΑΦΗΜΑ 40. ΠΛΗΘΟΣ ΜΟΝΑΔΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ, ΟΠΩΣ ΑΝΙΧΝΕΥΘΗΚΑΝ ΣΤΙΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΡΙΩΝ/ ΤΩΝ ($N = 76$) ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ($N = 12$).	248

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Σε μια κοινωνία εμποτισμένη με επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα που αποτελούν μεγάλο μέρος της σύγχρονης καθημερινότητας, οι πολίτες καλούνται να συμμετέχουν σε διαδικασίες λήψεων αποφάσεων που συχνά διέπονται από βαθιά κατανόηση της επιστήμης. Συνεπώς, είναι καίρια η συμπερίληψη των βασικών εννοιών και δυνατοτήτων που προσφέρουν τα σύγχρονα επιστημονικά επιτεύγματα, στην εκπαίδευση των μαθητριών/τών για τον μελλοντικό τους ρόλο ως πολίτες (Gericke & Hagberg, 2010b). Μία σημαντική πτυχή του επιστημονικού αυτού γραμματισμού καταλαμβάνει ο τομέας της γενετικής, εφόσον ο σύγχρονος πολίτης καλείται να αντιμετωπίσει ζητήματα που σχετίζονται με τη γονιδιακή θεραπεία, τον γονιδιακό έλεγχο, την αναπαραγωγή, την κληρονομικότητα, τη συμπεριφορά, αλλά ακόμα και πιο κοινωνικά θέματα όπως αυτά που αφορούν την καταγωγή και τη φυλή (Ahmed et al., 2018· Aldahmash et al., 2012· Donovan, 2021· Stern & Kampourakis, 2017). Συνεπώς η γνώση και αφομοίωση των εννοιών της γενετικής όντας θεμελιώδεις για την κατανόηση της ανθρώπινης υπόστασης, έχουν αντίκτυπο σε κοινωνικά και πολιτιστικά ζητήματα που συνδέονται με τις επιτυχίες ή αποτυχίες γενετικών επιτευγμάτων, ανάμεσα στα οποία είναι η ευγονική, η αθανασία, τα βλαστοκύτταρα και οι γονιδιακές θεραπείες (Aivelo & Uitto, 2015). Τέτοια ζητήματα που συσχετίζονται με τη γονιδιακή έκφραση γίνονται ολοένα και πιο επίκαιρα στη σύγχρονη κοινωνία και εγείρουν πολιτικά, οικονομικά, ηθικά και εκπαιδευτικά ερωτήματα που για να αντιμετωπιστούν - αν όχι να απαντηθούν - απαιτούν πολίτες-μέλη της κοινωνίας αναλόγως καταρτισμένους (Marbach-Ad, 2001).

Εκτός από αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης βιολογίας, η γενετική, αποτελεί και σημαντικό μέρος των αναλυτικών προγραμμάτων της δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (Agorram et al. 2010, Dorji et al. 2017, Gericke & Hagberg 2007) καθώς, σύμφωνα με τους ερευνητές, εκπαιδευόμενοι που αναπτύσσουν επαρκή κατανόηση των εννοιών και διαδικασιών της γενετικής είναι πιο ικανοί να συμμετέχουν στη λήψη σημαντικών αποφάσεων, αλλά και να διαμορφώσουν κριτική στάση κατά την παρακολούθηση σχετικών συζητήσεων στα μέσα ενημέρωσης (Marbach-Ad, 2001). Παρά την κεντρική της θέση της, όμως, στην εκπαίδευση, αποτελεί μία από τις πιο προβληματικές θεματικές της βιολογικής εκπαίδευσης, ως προς την κατανόησή της από τις/τους μαθήτριες/τές, καθώς έχει καταγραφεί ευρεία σύγχυση σχετικά με τις έννοιές της. Μεταξύ των καταγεγραμμένων δυσκολιών είναι και η αδυναμία να κατανοήσουν πολύπλοκα γενετικά φαινόμενα και διαδικασίες σε διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα, καθώς και ο ελλιπής διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής σε σχολική γνώση από τις/τους εκπαιδευτικούς (Agorram et al., 2010· Banet &

Ayuso, 2000· Dorji, Tshering, & Dorji, 2017· Gericke & Hagberg, 2007· Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000· Marbach-Ad, 2001), όπως και η παράλειψη σύγχρονων επιστημονικών επιτευγμάτων (πχ. βιοπληροφορική¹, γονιδιωματική²) από τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών στη γενετική καθιστώντας τα παρωχημένα (Dougherty et al., 2011). Παράλληλα, σχετικές έρευνες υποδεικνύουν πως τομείς όπως η γενετική και η κληρονομικότητα είναι ανεπαρκώς κατανοητές σε όλες τις ηλικιακές ομάδες (Lewis & Wood-Robinson, 2000). Σημαντική συμβολή στη διάδοση παρανοήσεων έχει διαδραματίσει η προβολή τέτοιων θεμάτων από τα μέσα ενημέρωσης που, εκτός εξαιρέσεων, προβάλλουν μια πολύ περιορισμένη πτυχή της γενετικής οδηγώντας στη δημιουργία λανθασμένων και παρωχημένων αντιλήψεων, όπως για παράδειγμα αυτής του γενετικού ντετερμινισμού (Forissier & Clément, 2003). Έρευνες δείχνουν πως τα τρέχοντα προγράμματα σπουδών γενετικής συχνά προτρέπουν τις/τους μαθήτριες/ές να σκέφτονται με γενετικά ντετερμινιστικό τρόπο, απεικονίζοντας ταυτόχρονα ανεπαρκώς σύγχρονες γενετικές έννοιες, όπως η επιγενετική και η αλληλεπίδραση γονιδίων και περιβάλλοντος (Haskel-Ittah, Duncan, & Yarden, 2020), πτυχές που ολοένα και περισσότερο εμφανίζονται σε προτάσεις για σχεδιασμό διδασκαλίας της γονιδιακής έκφρασης και του σχηματισμού χαρακτηριστικών (Heemann & Hammann, 2020).

Η εγγενής πολυπλοκότητα της γενετικής που προκύπτει από την εννοιολογική ποικιλότητα των βασικών όρων, όπως αυτή του «γονιδίου», επιδεινώνει την αμηχανία της διδασκαλίας και της κατανόησης της γενετικής. Καθώς ο όρος «γονίδιο» και η λειτουργία του έχουν υποστεί εννοιολογική αλλαγή από την πρώτη εμφάνισή του στις αρχές του εικοστού αιώνα, έχουν υπάρξει πολλαπλά επιστημονικά μοντέλα γονιδίων που περιγράφουν τη δομή και τη λειτουργία του σε διαφορετικά ιστορικά πλαίσια (El-Hani et al., 2014· Gericke & Hagberg, 2010b· Kampourakis, 2017). Αυτή η εννοιολογική ποικιλότητα αποτυπώνεται και στα διδακτικά εγχειρίδια της βιολογίας διεθνώς, ενισχύοντας τα προβλήματα στο μετασχηματισμό της επιστημονικής σε σχολική γνώση από τους εκπαιδευτικούς, δεδομένου ότι αποτελούν την κύρια πηγή διδασκαλίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και συνεπώς κατέχουν κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών (Aivelo & Uitto, 2015· Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke et al., 2014· Gericke & Hagberg, 2010a,

¹ Η βιοπληροφορική (bioinformatics) είναι ένας επιστημονικός τομέας που περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογίας υπολογιστών για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση και διάδοση βιολογικών δεδομένων και πληροφοριών, όπως αλληλουχίες DNA και αμινοξέων ή σχόλια σχετικά με τις αλληλουχίες αυτές. (National Human Genome Research Institute [NIH], 2024)

² Η γονιδιωματική (genomics) είναι η μελέτη όλων των γονιδίων ενός ατόμου (το γονιδίωμα), συμπεριλαμβανομένων των αλληλεπιδράσεων αυτών των γονιδίων μεταξύ τους και με το περιβάλλον του ατόμου. (NIH, 2022)

2010b· Santos et al., 2012). Μόνο διδακτικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν ιστορικές πτυχές της επιστήμης (History of Science – HOS) στα προγράμματα σπουδών των φυσικών επιστημών, ενισχύοντας έτσι την κατανόηση της φύσης της επιστήμης (Nature of Science - NOS) δείχνουν να μπορούν να βελτιώσουν τη σύγχυση της εννοιολογικής ποικιλότητας από μαθήτριες/τές (Blonder & Mamlok-Naaman, 2019) και συνεπώς να αντιμετωπιστούν εναλλακτικές αντιλήψεις που μπορεί να προκύπτουν από αυτή.

Η σημασία της διδασκαλίας της γενετικής, συμπληρωματικά με το γεγονός ότι είναι μία από τα πιο δύσκολες θεματικές αφού περιλαμβάνει εννοιολογικές δυσκολίες που προκύπτουν από την εκπαιδευτική πρακτική (Agorram et al., 2010· Browning & Lehman, 1988· Gericke & Wahlberg, 2013), οδηγεί στην αναγνώριση της αναγκαιότητας να επανεξετασθεί το περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων παγκοσμίως (Aivelo & Uitto, 2015), με απαραίτητη προϋπόθεση τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών (Osman et al., 2017). Σε αυτό οδηγεί και η διαπίστωση πως οι μαθήτριες/τές έχουν πολλές εναλλακτικές αντιλήψεις, έχουν παρανοήσεις που προέρχονται από εκτενή προσωπική εμπειρία και δεν είναι συμβατές με τις καθιερωμένες επιστημονικές θεωρίες (Lawson & Thompson, 1988). Η αντιμετώπιση των εναλλακτικών αντιλήψεων έχει κριθεί ανεπαρκής, καθώς έρευνες σε διαφορετικά εκπαιδευτικά συστήματα ανά τον κόσμο έχουν δείξει ότι μαθήτριες/τές παρουσιάζουν δυσκολίες στην κατανόηση βασικών εννοιών της γενετικής, όπως τα γονίδια και τα χρωμοσώματα, σύγχυση και αβεβαιότητα για τις σχέσεις μεταξύ τους, αλλά και αδυναμία αναγνώρισης της τοποθεσίας του γενετικού υλικού στο κύτταρο ενός οργανισμού (Banet & Ayuso, 2003· Lewis et al., 2000a).

1.2 Αναγκαιότητα της έρευνας

Η διερεύνηση των ιδεών και αντιλήψεων των παιδιών αποτελεί διαχρονικά σημαντικό κομμάτι της ερευνητικής δραστηριότητας στον τομέα της διδακτικής των φυσικών επιστημών (Sutton, 1980), καθώς είναι αναπόσπαστο μέρος της επικοινωνιακής αντίληψης ως μοντέλο διδασκαλίας, μία αντίληψη που αποτελεί εργαλείο στη διάθεση εκπαιδευτικών. Οι εκπαιδευτικοί στην εφαρμογή της καλούνται να ανιχνεύσουν τις εναλλακτικές ιδέες που φέρουν οι μαθήτριες/τές για συγκεκριμένα φυσικά φαινόμενα και έννοιες, ώστε να διαμορφωθεί αντίστοιχα η εκπαιδευτική διαδικασία ή/και το περιεχόμενο διδασκαλίας (Κολιόπουλος, 2006).

Το ερευνητικό ενδιαφέρον στην ανίχνευση των ιδεών ή των εναλλακτικών ιδεών (misconceptions) των μαθητριών/τών στις φυσικές επιστήμες είναι μεγάλο, με παραδείγματα όπως η διερεύνηση βασικών εννοιών της φυσικής στις ιδέες μαθητριών/τών από τις Driver,

Guesne και Tiberghien (1994) που αποτέλεσαν σημαντική παρακαταθήκη για τέτοιου είδους έρευνες στις φυσικές επιστήμες. Ο Sadler και οι συνεργάτες του (2013) εντοπίζουν τη μετατόπιση της εκπαιδευτικής έρευνας σε διαγνωστικά ερευνητικά εργαλεία που εντοπίζουν και ταξινομούν τέτοιες ιδέες σε μεγαλύτερη κλίμακα και με μεγάλη ακρίβεια από την παραδοσιακή δομημένη κλινική συνέντευξη του Piaget, με αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις/τους εκπαιδευτικούς.

Παρά την ύπαρξη τέτοιων ερευνητικών εργαλείων για την κατανόηση εννοιών της γενετικής, όπως εργαλεία αξιολόγησης κατανόησης με ερωτήσεις κλειστού τύπου πολλαπλής επιλογής με παραπλανητές επιλογές ή εργαλεία αξιολόγησης γνώσης εννοιών μέσω εννοιολογικής απογραφής τους, αυτά επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες πτυχές της έννοιας του γονιδίου ή της γονιδιακής λειτουργίας, όπως, για παράδειγμα, ο εντοπισμός των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητριών/τών, ο γενετικός ντετερμινισμός³ που παρουσιάζεται σε αυτές, ή η επίδοσή τους μετά από μια διδακτική μαθησιακή ακολουθία με συγκεκριμένη στόχευση.

Η παρούσα έρευνα, εστιάζει στην έννοια του γονιδίου και τη γονιδιακή λειτουργία στο ιστορικό πλαίσιο στο οποίο έχει υποστεί και εννοιολογικές μεταβολές, με αποτέλεσμα της συνύπαρξης στοιχείων των ιστορικών χαρακτηριστικών των εννοιών και στα σύγχρονα διδακτικά εγχειρίδια. Τα ευρήματά της έρευνας αυτής, θα μπορούσαν να αποτελέσουν οδηγό εμπλουτισμού του γενικού πλαισίου αναλυτικών προγραμμάτων και επιμορφώσεων των εκπαιδευτικών, καθώς και διαμόρφωσης της διδασκαλίας της γενετικής με βάση αυτά.

1.3 Πρωτοτυπία της έρευνας

Η διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών για τη γενετική είναι ευρέως διαδεδομένη στη διεθνή εκπαιδευτική έρευνα, ενώ υπάρχουν μόνο λίγες για τα ελληνικά δεδομένα. Παράλληλα, έρευνες που αφορούν στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών σε θέματα γενετικής είναι πολύ λίγες διεθνώς και απουσιάζουν για τον ελληνικό πληθυσμό. Επίσης, ο συνδυασμός διερεύνησης αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών με τη χρήση του ερευνητικού εργαλείου της ημιδομημένης συνέντευξης και παρόμοιας ανάλυσης και για τις δύο ομάδες, που φαίνεται να μην εξετάζεται στη βιβλιογραφία. Ακόμα, κατά την αναζήτηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας καταγράφονται έρευνες που εξετάζουν αντιλήψεις για τη γενετική εκπαιδευόμενων και εκπαιδευτικών εστιάζοντας κυρίως στην ανίχνευση εναλλακτικών αντιλήψεων και

³ Ο γενετικός ντετερμινισμός είναι η πεποίθηση πως «τα γονίδια παρέχουν την τελική εξήγηση για τους χαρακτήρες και άρα η καλύτερη προσέγγιση για να τους εξηγήσει κάποιος είναι να μελετήσει τα φαινόμενα στο επίπεδο των γονιδίων (Καμπουράκης, 2017/2021).

παρανοήσεων, στην εκτίμηση του γενετικού ντετερμινισμού, στην κατανόηση εννοιών της γενετικής σε σχέση με συγκεκριμένη διδακτική ακολουθία, γεγονός που μπορεί να αποκλείει κάποιο στοιχείο που απαρτίζει τη δομή και λειτουργία των γονιδίων.

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί να προσδιορίσει όσο το δυνατόν πληρέστερα τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών με άξονα τα πέντε ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία στην ελληνική πραγματικότητα. Τα ιστορικά μοντέλα αποτελούν καταγραφή της εννοιολογικής ποικιλότητας της έννοιας του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας μέσω επιστημολογικών χαρακτηριστικών που αποδεδειγμένα χρησιμοποιούνται πολλές φορές και υβριδοποιημένα στα διδακτικά εγχειρίδια. Καθώς η κατασκευή των ιστορικών μοντέλων πραγματοποιήθηκε με σκοπό την ανίχνευσή τους σε διδακτικά εγχειρίδια βιολογίας, η παρούσα έρευνα αποτελεί μια πρώτη εκτίμηση των αντιλήψεων για το γονίδιο σε αυτό το πλαίσιο στον ελληνικό μαθητικό και εκπαιδευτικό πληθυσμό. Ακόμα, συνιστά πεδίο σύγκρισης με αντίστοιχες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην εξέταση και ανάλυση των διδακτικών εγχειριδίων βιολογίας για θέματα γενετικής στο ίδιο πλαίσιο, ώστε να αξιολογηθεί η επιρροή τους τόσο στις αντιλήψεις μαθητριών/τών, όσο και στη διδασκαλία του αντικειμένου από τις/τους εκπαιδευτικούς.

1.4 Στόχοι της έρευνας

Βασικός σκοπός της έρευνας είναι η διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα σε σχέση με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία και

Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι της έρευνας είναι:

1. Η βιβλιογραφική διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.
2. Η διερεύνηση των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη βιβλιογραφία.
3. Η διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και η ανίχνευση των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.
4. Η διερεύνηση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και η ανίχνευση των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.

1.5 Ερευνητικά ερωτήματα

Η εργασία κατευθυνόταν από τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

1ο ερευνητικό ερώτημα Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύοντας τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα;

2ο ερευνητικό ερώτημα Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύοντας τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα;

3ο ερευνητικό ερώτημα Ποια από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα;

4ο ερευνητικό ερώτημα Ποια από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα;

5ο ερευνητικό ερώτημα Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα;

6ο ερευνητικό ερώτημα Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα;

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 Γενετικός γραμματισμός

Σε μια κοινωνία εμποτισμένη με επιστημονικά και τεχνολογικά επιτεύγματα, τα οποία αποτελούν μεγάλο μέρος της σύγχρονης καθημερινής ζωής, οι πολίτες συμμετέχουν σε διαδικασίες που απαιτούν βαθιά κατανόηση της επιστήμης. Πιο συγκεκριμένα, οι πολίτες έρχονται όλο και περισσότερο αντιμέτωποι με θέματα που απαιτούν κριτική σκέψη και κατανόηση των γενετικών εννοιών, μεθόδων και διαδικασιών, δηλαδή τη γονιδιακή θεραπεία, τη διαθεσιμότητα των γενετικών εξετάσεων στο ευρύ κοινό με εμπορευματικό χαρακτήρα (π.χ. ιστοσελίδα 23andMe⁴), την αναπαραγωγή, τα κληρονομικά και συμπεριφορικά ζητήματα, καθώς και τις κοινωνικές αντιπαραθέσεις σχετικά με την καταγωγή και τη φυλή (Ahmed et al., 2018· Aldahmash et al., 2012· Castro-Faix & Duncan, 2022· Donovan, 2021· Stern & Kampourakis, 2017). Το εν λόγω διευρυμένο φάσμα εφαρμογών της γενετικής καθιστά τον γενετικό γραμματισμό, έναν σημαντικό πυλώνα του επιστημονικού γραμματισμού, καθώς και οι γενετικές εφαρμογές που υπόκεινται σε εμπορική χρήση και αποτελούν μία κομβική πτυχή του σύγχρονου πολίτη.

Ο γενετικός γραμματισμός αποτελεί υποσύνολο του επιστημονικού γραμματισμού, ο οποίος περιλαμβάνει την ικανότητα επικοινωνίας, ανάγνωσης και συγγραφής με συνοχή σε ένα μη τεχνικό, αλλά ουσιαστικό πλαίσιο (Laugksch, 2000). Ένα λειτουργικά και επιστημονικά αναλφάβητο άτομο δεν κατανοεί τον ρόλο των θεωριών στην επιστήμη και τις μοναδικές διαδικασίες που αυτή περιλαμβάνει. Τα επιστημονικά εγγράμματα άτομα μπορούν να χρησιμοποιούν την επιστημονική σκέψη για προσωπικούς και κοινωνικούς σκοπούς. Υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία σχετικά με τον γενετικό γραμματισμό, με το μεγαλύτερο μέρος της να επικεντρώνεται σε θέματα που σχετίζονται με την υγεία και την ανεπαρκή προετοιμασία των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης για θέματα που σχετίζονται με τη γενετική (Boerwinkel et al., 2017). Ο γενετικός γραμματισμός θεωρείται απαραίτητος τόσο για τους επαγγελματίες υγείας όσο και για το κοινό. Θεωρείται επίσης μέρος της ιδιότητας του γενετικά εγγράμματος πολίτη, που περιλαμβάνει τη συμμετοχή στην κοινωνική διαβούλευση για θέματα που σχετίζονται με τη γενετική και την προσωπική λήψη αποφάσεων. Η διατύπωση του απαραίτητου περιεχομένου για τον γενετικού γραμματισμού έχει επιπτώσεις στην

⁴ Η εταιρεία 23andMe παρέχει γενετικές εξετάσεις στο κοινό χωρίς καθοδήγηση από γενετική/ό σύμβουλο για να βοηθήσει την/τον καταναλώτρια/τή να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα των εξετάσεων (Castro-Faix & Duncan, 2022).

εκπαιδευτική πολιτική (Dougherty et al., 2011) και στη δημόσια επικοινωνία της επιστήμης (Pearson & Liu-Thompkins, 2012).

Μία πρόταση για τα εννοιολογικά μοντέλα που περιλαμβάνονται στο γενετικό γραμματισμό έκανε ο Stewart και οι συνεργάτες του (2005):

- α) το μοντέλο της κληρονομικότητας, το οποίο εξηγεί τα πρότυπα κληρονομικότητας (π.χ. υπολειπόμενο, επικρατές, φυλοσύνδετο) και την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα αλληλόμορφα (γονιδιακές παραλλαγές) μεταδίδονται μεταξύ των γενιών,
- β) το μοντέλο της μείωσης, το οποίο περιλαμβάνει τη φυσική μεταφορά γονιδίων από τη μία γενιά στην επόμενη μέσω των γαμετών και
- γ) το μοριακό μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει τους κυτταρικούς και μοριακούς μηχανισμούς με τους οποίους τα γονίδια καθορίζουν τα χαρακτηριστικά. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει την κατανόηση ότι τα γονίδια κωδικοποιούν πρωτεΐνες και ότι οι αλλαγές (μεταλλάξεις) στη συνταγή (DNA) μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία των πρωτεϊνών.

Για αυτούς τους λόγους, η γενετική, εκτός από αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης βιολογίας, αποτελεί σταθερό κλάδο των προγραμμάτων σπουδών βιολογίας της δευτεροβάθμιας και της ανώτερης εκπαίδευσης (Agorram et al., 2010· Dorji, Tshering, & Dorji, 2017· Gericke & Hagberg, 2007). Παρά τον κεντρικό της ρόλο στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών, αποτελεί έναν από τους πιο προβληματικούς τομείς του προγράμματος σπουδών της βιολογίας, κυρίως λόγω των εννοιολογικών, γλωσσικών δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθήτριες/τές (Maghfiroh et al., 2023), οι δυσκολίες αυτές μπορεί να προκύψουν είτε από την αδυναμία των μαθητριών/τών να συνδέσουν τα διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα των γενετικών φαινομένων και διαδικασιών (Duncan & Reiser, 2007· Marbach-Ad & Stavy, 2000), είτε από την αναντιστοιχία μεταξύ του επιπέδου εννοιολογικής δυσκολίας και του γνωστικού επιπέδου των μαθητριών/τών (Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000), είτε από την ανακριβή ή και την έλλειψη προηγούμενων γνώσεων (Donovan & Venville, 2014· Venville et al., 2005). Οι δυσκολίες των μαθητριών/τών εν συνεχεία ενισχύονται από τα χαμηλής ποιότητας σχολικά βιβλία που στερούνται συνοχής (Albuquerque et al., 2008· Flodin, 2009· Santos et al., 2012), από τον ελλιπή και κάποιες φορές προβληματικό διδακτικό μετασχηματισμό της επιστημονικής σε σχολική γνώση από τους εκπαιδευτικούς και, τέλος, από τις προκαταλήψεις που έχουν και τα δύο μέρη πριν από τη διδασκαλία, οι οποίες διαμορφώνονται και από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης (Stern & Kampourakis, 2017).

Εκτός από τα προαναφερθέντα ζητήματα, η εγγενής πολυπλοκότητα της γενετικής που προκύπτει από την εννοιολογική ποικιλότητα βασικών όρων, όπως αυτός του «γονιδίου», επιτείνει την αμηχανία της διδασκαλίας και της κατανόησης της γενετικής. Καθώς ο όρος «γονίδιο» και η λειτουργία του έχει υποστεί εννοιολογική αλλαγή στην ίδια την επιστημονική παραγωγή γνώσης από την πρώτη εμφάνισή του στις αρχές του εικοστού αιώνα, έχουν υπάρξει πολλαπλά επιστημονικά μοντέλα γονιδίων που περιγράφουν τη δομή και τη λειτουργία του σε διαφορετικά ιστορικά πλαίσια (Gericke & Hagberg, 2010b). Έχει αποδειχθεί ότι οι διδακτικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν ιστορικές πτυχές στα προγράμματα σπουδών των φυσικών επιστημών ενισχύουν την κατανόηση της φύσης της επιστήμης και, ως εκ τούτου, βοηθούν στην αντιμετώπιση εναλλακτικών αντιλήψεων που μπορεί να έχουν τόσο οι εκπαιδευτικοί όσο και οι μαθήτριες/τές, έχοντας επιπτώσεις στη διδασκαλία (Blonder & Mamlok-Naaman, 2019).

Η έννοια και η λειτουργία του γονιδίου έχει υπάρξει αντικείμενο πολλών συζητήσεων και αναλύσεων στον επιστημονικό κόσμο (El-Hani et al., 2014· Kampourakis, 2017) και φυσικά ως προς τις επιπτώσεις που έχει η εννοιολογική αλλαγή στην εκπαίδευση και τη μαθησιακή διαδικασία. Πολλές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στον τρόπο με τον οποίο η έννοια του γονιδίου αποτυπώνεται στα εγχειρίδια βιολογίας (Aivelo & Uitto, 2015· Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke et al., 2014· Gericke & Hagberg, 2010a· Santos et al., 2012), αλλά και έχουν ερευνήσει τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών στη γενετική. Η ανάγκη αναθεώρησης των προγραμμάτων σπουδών παγκοσμίως είναι εμφανής (Aivelo & Uitto, 2015) (Aivelo & Uitto, 2015), και προτείνεται από ότι θα πρέπει να βασίζεται σε συστηματική έρευνα που διεξάγεται σχετικά με τις αντιλήψεις τόσο των μαθητριών/τών όσο και των εκπαιδευτικών (Osman et al., 2017).

Ο Boerwinkel και οι συνεργάτες του (2017) σε έρευνά τους προσδιόρισαν τη γνώση της γενετικής που απαιτείται για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με ζητήματα που σχετίζονται με τη αυτή. Κατέληξαν σε τρεις τύπους γνώσης που συντονισμένες οδηγούν στο γενετικό γραμματισμό: α) την επιστημονική γνώση (epistemic knowledge), β) την κοινωνικοπολιτισμική γνώση (sociocultural knowledge) και γ) την εννοιολογική γνώση (conceptual knowledge). Η επιστημονική γνώση αφορά τη γνώση της σημασίας των γενετικών πληροφοριών. Είναι οι γνώσεις που απαιτούνται για την ερμηνεία των γενετικών πληροφοριών από διάφορες πηγές και τον τρόπο χρήσης τους σε επιχειρήματα και στη λήψη αποφάσεων. Η γνώση αυτή περιλαμβάνει πτυχές της Φύσης της Επιστήμης (Nature of Science, NOS), όπως η βεβαιότητα και η αβεβαιότητα των γενετικών πληροφοριών και ο τρόπος με τον οποίο έχουν εξελιχθεί οι γενετικές έννοιες. Όσον αφορά την κοινωνικοπολιτισμική γνώση, αυτή σχετίζεται με την επίγνωση του γεγονότος ότι οι νέες γενετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται συχνά σε

πρακτικές που μπορούν να επηρεάσουν όλες/ους, όπως η ιατρική διάγνωση και θεραπεία, η παραγωγή τροφίμων και η εγκληματολογία, και ότι οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές έχουν οφέλη καθώς και κινδύνους ή μειονεκτήματα, για τα άτομα και για τις ομάδες, γεγονός που καθιστά την προσεκτική λήψη αποφάσεων τόσο πολύπλοκη όσο και αναγκαία. Τέλος, η εννοιολογική γνώση, είναι η γνώση των γενετικών εννοιών, καθώς όπως προαναφέρθηκε είναι και πηγή μεγάλης δυσκολίας κατανόησης γενετικών διαδικασιών κατά την εκπαιδευτική διαδικασία.

2.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή στις θεωρίες κληρονομικότητας και της έννοιας του γονιδίου

Αντικείμενο συζήτησης αυτού του κεφαλαίου θα αποτελέσει η εννοιολογική ποικιλότητα της έννοιας του γονιδίου ως παράγοντα που συμμετέχει στην κληρονομικότητα, κυρίως κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, όπου και υπέστη πολλές αλλαγές στον τρόπο που χρησιμοποιήθηκε από την επιστημονική κοινότητα, αλλά και στη θεώρησή του, ακολουθώντας τα πιο σημαντικά επιστημονικά επιτεύγματα σε τομείς της γενετικής και της μοριακής βιολογίας (Καμπουράκης, 2017/2021).

Η φιλοσοφική και επιστημονική σκέψη και το ενδιαφέρον για δόμηση εξηγήσεων γύρω από την έννοια της κληρονομικότητας και τις παραμέτρους που τη διέπουν, ωστόσο, χρονολογείται από την εποχή των προσωκρατικών φιλοσόφων. Το σημείο καμπής αποτελεί παρ' όλα αυτά, η αρχή του 20ού αιώνα όταν ανακαλύφθηκε εκ νέου το έργο του Gregor Mendel (1822-1884) και πυροδότησε τη διαμόρφωση ποικίλων μοντέλων θεώρησης του γονιδιακού ρόλου και δομής, και συνεπώς η ωρίμανση των εννοιών της, επέτρεψε την καθιέρωση της καθιέρωση της γενετικής ως αυτόνομης επιστήμης της κληρονομικότητας (Mayr, 1982).

2.2.1 Πρώιμες θεωρίες κληρονομικότητας

Από την πρωτόγονη ανθρωπότητα ακόμα φαίνεται να υπήρχε η σύνδεση ανάμεσα στην ποικιλότητα και την κληρονομικότητα σε κάποιο βαθμό, αφού η γνώση ότι οι απόγονοι προσομοιάζουν στους γονείς και στους προγόνους αυτών προϋπήρχε. Ακόμα, υπάρχουν στοιχεία για πρακτικές διασταυρώσεων ζώων και φυτών, όπως το παράδειγμα των Ασσύριων το 2000 π.Χ. που χρησιμοποιούσαν γύρη αρσενικών φοινίκων για τη γονιμοποίηση θηλυκών φυτών (Mayr, 1982).

Ο Mayr (1982) εντοπίζει λανθασμένες ιδέες ή δόγματα από τις πολλές που επικράτησαν μέχρι την πρόοδο στην κατανόηση της γενετικής που θα επερχόταν κατά τον 20^ό αιώνα και στις οποίες συνετέλεσε η προσβασιμότητα του φαινομένου της κληρονομικότητας και η ενσωμάτωσή του σε ένα πλαίσιο λαϊκής⁵ «επιστήμης» (folklore-“science”) όπως αναφέρει. Οι πιο χαρακτηριστικές ιδέες ήταν οι εξής:

1. ότι η γονική πνευματικότητα, και όχι η μεταφορά της φυσικής ουσίας, είναι ο παράγοντας της κληρονομικότητας,
2. ότι μόνο ένας από τους γονείς μεταβιβάζει τα γενετικά στοιχεία,
3. ότι η συμβολή του πατέρα είναι ποσοτικά και ποιοτικά διαφορετική από εκείνη της μητέρας,
4. ότι το περιβάλλον και οι δραστηριότητες του σώματος (χρήση και αχρησία) έχουν ισχυρή καθοριστική επίδραση στο γενετικό υλικό (κληρονομικότητα των επίκτητων χαρακτήρων),
5. ότι υπάρχουν δύο έντονα διακρινόμενα είδη κληρονομικών ιδιοτήτων, εκείνες που μεταβάλλονται ασυνεχώς και εκείνες που μεταβάλλονται συνεχώς με απειροελάχιστες μικρές διαβαθμίσεις,
6. ότι οι ίδιοι οι χαρακτήρες (ιδιότητες) κληρονομούνται άμεσα και όχι η δυνατότητα σχηματισμού τους (με τη μορφή του γενετικού προγράμματος),
7. ότι οι γενετικές συνεισφορές και των δύο γονέων συγχωνεύονται στον απόγονο (κληρονομικότητα ανάμειξης).

2.2.1.1 Θεωρίες κληρονομικότητας στον αρχαίο κόσμο

Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι, παρά τη στοχαστική και κριτική ανάλυσή τους, δεν ανέπτυξαν μια ενιαία θεωρία βιολογικής ποικιλομορφίας και κληρονομικότητας. Παρά την κοινώς αποδεκτή αρχή της κληρονομικότητας, όπως αυτή εμφανιζόταν στα έπη όπως η Ιλιάδα, όπου υπήρχε η κληρονόμηση των ηρωικών χαρακτηριστικών από πατέρα σε γιο, ο τρόπος μεταβίβασης αυτών ήταν άγνωστος (Mayr, 1982).

Ο Ιπποκράτης (~ 460-377 π.Χ.), ο διάσημος γιατρός, δίδασκε ότι το «υλικό του σπόρου» προερχόταν από διάφορα μέρη του σώματος και μεταφερόταν από τα υγρά στα αναπαραγωγικά όργανα, ενώ τη γονιμοποίηση καθιστούσε η μίξη του υλικού των σπόρων του

⁵Ο Mayr αναφέρεται εδώ στη «λαϊκή επιστήμη» και πιο συγκεκριμένα τη «λαϊκή βιολογία», όρος που υιοθετείται σήμερα και που αναφέρεται στην καθημερινή κατανόηση του βιολογικού κόσμου από τους ανθρώπους που δεν ανήκουν στην επιστημονική κοινότητα. Για τον τρόπο που αντιλαμβάνονται, κατηγοριοποιούν και αιτιολογούν τα είδη των ζωντανών οργανισμών (Medin & Atran, 1999).

πατέρα και της μητέρας. Ο Αναξαγόρας (~ 500-428 π.Χ.) είχε ήδη εκφράσει αυτή την ιδέα της πανσπερμίας ή παγγένεσης, θεωρήσει που είχε υποστηρικτές έως και τον 19^ο αιώνα, συμπεριλαμβανομένου και του Charles Darwin (1809-1882). Η θεωρία της παγγένεσης περιλάμβανε μια εναλλαγή μεταξύ του σχηματισμού του σώματος (φαινότυπος) και του σχηματισμού του υλικού του σπόρου (σπέρμα, γονότυπος), το οποίο μετατρέπεται ξανά στο σώμα της επόμενης γενεάς μέσω της ανάπτυξης. Η αντίληψη αυτή διατηρήθηκε μέχρι τις δεκαετίες του 1870 και 1880. Ο Αριστοτέλης, αφιέρωσε ένα σημαντικό έργο, το «Περί Ζώων Γενέσεως», σε ζητήματα γενεάς και κληρονομικότητας. Αντιτάχθηκε στην ατομιστική ερμηνεία της κληρονομικότητας από τον Ιπποκράτη και εισήγαγε μια ολιστική θεωρία της κληρονομικότητας. Κατά την άποψή του, το σπέρμα του άνδρα συνεισέφερε τη μορφή (*είδος*), ενώ το έμμηνο αίμα της γυναίκας ήταν η αδιαμόρφωτη ουσία που σχηματιζόταν από το *είδος* του σπέρματος. Τέλος, οι Επικούρειοι φιλόσοφοι ήταν εκείνοι που εισήγαγαν την έννοια των πολύ μικρών αόρατων σωματιδίων, η οποία αργότερα έγινε κυρίαρχη έννοια στη γενετική.

Η συνεισφορά των αρχαίων Ελλήνων σε αυτόν τον τομέα της βιολογίας ήταν σημαντική, καθώς εισήγαγαν μία νέα, επιστημονική, προς μελέτη, αντίληψη για την κληρονομικότητα, ξέχωρη από θρησκευτικές πεποιθήσεις, με περιορισμένες νέες εξελίξεις για περίπου ακόμα δύο χιλιάδες χρόνια (Mayr, 1982).

2.2.1.2 Μεσαίωνα έως τον 18^ο αιώνα

Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, στον δυτικό κόσμο, γίνεται η πρώτη χρήση της λέξης «κληρονομικότητα» για να εκφράσει τη μεταβίβαση βιολογικών γνωρισμάτων, η οποία μέχρι πρότινος προοριζόταν αποκλειστικά για τη μεταβίβαση των αγαθών ανάμεσα στις γενεές. Η έννοια αυτή εισάγεται στο πλαίσιο των κληρονομικών νόσων, η εξέλιξη της έρευνας των οποίων ωστόσο είναι περιορισμένη σε σύγκριση με αυτήν άλλων νόσων. Η μεταβίβαση των επίκτητων γνωρισμάτων στους απογόνους είναι μια ιδέα που είναι αποδεκτή από όλους τους οπαδούς του μοντέλου του Ιπποκράτη σχετικά με την αναπαραγωγή και ιδέα της κληρονομικής παραμένει περιορισμένη στα νοσήματα και δεν επεκτείνεται καθόλου στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του οργανισμού. Παρ' όλο που δεν πραγματοποιείται περαιτέρω εμβάθυνση στην έννοια της κληρονομικότητας, παραμένει μια καινοτομία του Μεσαίωνα εξαιρετικής σημασίας (Morange, 2016/2017).

Από το Μεσαίωνα έως τον 19^ο αιώνα η σκέψη του δυτικού ανθρώπου κυριαρχήθηκε πλήρως από τον ουσιοκρατία⁶, τον φιλοσοφικό όρο που περιγράφει την κοινή ουσία όλων των μελών ενός είδους (ανεπηρέαστα από εξωτερικές επιδράσεις ή περιστασιακά ατυχήματα). Επομένως, η μελέτη της φύσης περιλάμβανε απλώς τη μελέτη των ειδών. Η ουσιοκρατική σκέψη ήταν τόσο κυρίαρχη καθ' όλη τη διάρκεια του 16^{ου}, 17^{ου} και του μεγαλύτερου μέρους του 18^{ου} αιώνα, ώστε δεν υπήρξαν συστηματικές έρευνες σχετικά με την ποικιλομορφία των ατομικών χαρακτηριστικών, που ακόμα και όταν συναντούσαν ενδοειδικές «ποικιλίες», οι φυσιδίφες της εποχής δεν δίναν ιδιαίτερη σημασία (Mayr, 1982).

2.2.1.3 19^{ος} αιώνας

Στη διάρκεια του δεύτερου μισού του 19^{ου} αιώνα διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες σχετικά με την κληρονομικότητα, που είναι σχετικά «πρόσφατη» έννοια, ενώ ακόμα δεν υπάρχει η έννοια της γενετικής ή του γονιδίου στην επιστημονική κοινότητα. Ενώ στην ίδια χρονική περίοδο ο Αυστριακός Gregor Mendel (1822-1884) πραγματοποιεί τα πειράματά του μελετώντας την υβριδοποίηση σε φυτά, οι σύγχρονοί του ερευνητές δεν έχουν υπόψιν τους την έρευνά του, καθώς το πλαίσιο της μελέτης του σχετιζόταν με τη γεωργία και όχι τη μελέτη της κληρονομικότητας (Καμπουράκης, 2017/2021). Ο Mendel είχε υπόψη του από βοτανολόγους της εποχής του ότι μόνο ένας κόκκος γύρης συμμετέχει στη γονιμοποίηση και επέκτεινε την αντίληψη αυτή μελετώντας δύο ζεύγη χαρακτήρων στο φυτό που μελετούσε. Αυτός ο τρόπος μελέτης μεμονωμένων χαρακτήρων του έδωσε τη δυνατότητα γενίκευσης και έτσι διατύπωσε τον «νόμο του συνδυασμού διαφορετικών χαρακτήρων», που σήμερα αναφέρεται ως «ανεξάρτητη μεταβίβαση χαρακτήρων». Ο Mendel συνέβαλε σημαντικά στην τελική εξάλειψη των τελευταίων υπολειμμάτων της πίστης στη μίξη χαρακτηριστικών και τόνισε ότι αν οι παράγοντες που προέρχονται από τον πατέρα και τη μητέρα διέφεραν, δεν θα συγχωνεύονταν ποτέ, αλλά θα διαχωρίζονταν αναπόφευκτα και πάλι, κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του γεννητικού κυττάρου. Αυτή η ανεξαρτησία, και η ξεχωριστή ύπαρξη, τρόπων τινά, των

⁶ Η ουσιοκρατία είναι η ιδέα ότι οι οντότητες έχουν ουσία, δηλαδή υποκείμενες ιδιότητες που τις χαρακτηρίζουν. Η λέξη «ουσιοκρατία», όπως και η ρίζα της λέξης «ουσία», δεν αναφέρεται σε μια ενιαία έννοια ή άποψη, αλλά σε μια ομάδα από αυτές, οι οποίες δεν είναι όλες στενά συνδεδεμένες, αλλά αποτελούν μια οικογένεια ιδεών που μοιάζουν κάπως μεταξύ τους (Wilkins, 2013). Ο Wilkins (2013) παρουσιάζει ποικίλους τύπους ουσιοκρατίας (ψυχολογική, ανθρώπινη, λογική, μεταφυσική, επιστημονική και βιολογική), όπως αυτοί παρουσιάζονται στη σύγχρονη (μετά το 1940) βιβλιογραφία των επιστημών της ψυχολογίας και φιλοσοφίας.

Η γενετική ουσιοκρατία περιγράφει την άποψη ότι «τα γονίδια είναι αμετάβλητες οντότητες, οι οποίες μεταφέρονται αναλλοίωτες από τη μία γενιά στην επόμενη και αποτελούν την ουσία της υπόστασής μας, προσδιορίζοντας τους χαρακτήρες από τους οποίους μπορεί να συναχθεί η ύπαρξή τους» (Καμπουράκης, 2017/2021).

γενετικών παραγόντων στο βλαστικό πλάσμα έδωσε ταυτόχρονα μεγάλη ώθηση στην πίστη στην κληρονομικότητα (Mayr, 1982).

Ο Καμπουράκης (2013: 2017/2021) συνοψίζει (Πίνακας 1) τις οκτώ θεωρίες κληρονομικότητας που αποτέλεσαν προδρόμους της έννοιας του γονιδίου.

Πίνακας 1. *Θεωρίες κληρονομικότητας στο δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα* (Kampourakis, 2013: Καμπουράκης, 2017/2021)

Συγγραφέας (έτος δημοσίευσης)	Κληρονομικοί παράγοντες	Μηχανισμός για ποικιλότητα	Κληρονομούμενοι επίκτητοι χαρακτήρες
Herbert Spencer (1864)	Φυσιολογικές μονάδες που περιέχονται σε κύτταρα	Οι φυσιολογικές μονάδες αναδιαμορφώνονται	Ναι
Charles Darwin (1868)	Gemmules που αποβάλλονται (προσφέρονται) από κάθε μονάδα του σώματος	Ελλιπής ποσότητα ή τροποποίηση των gemmules	Ναι
Ernst Haeckel (1876)	Plastidules με συχνότητα και πλάτος δόνησης	Η συχνότητα και το πλάτος της δόνησης των plastidules μπορούν να αλλάξουν λόγω επίδρασης εξωτερικών συνθηκών	Ναι
Francis Galton (1876 & 1889)	Stirp (το σύνολο των αναπτυγμένων και λανθανόντων germs) που υπάρχουν στο σώμα	Τα germ δεν είναι ταυτόσημα και μπορεί να τροποποιηθούν, εάν παραμείνουν λανθάνοντα επί μακρόν	Όχι
William Keith Brooks (1883)	Gemmules που απαντούν σε όλα τα κύτταρα	Gemmules που προσφέρονται από προσβεβλημένα κύτταρα μεταβιβάζουν την αλλαγή στο ωάριο	Όχι
Carl von Nägeli (1884)	Καθοριστές που περιέχονται στο ιδιόπλασμα	Εσωτερικές τελειοποιητικές δυνάμεις, εξωτερικά ερεθίσματα που προκαλούν αλλαγές στο ιδιόπλασμα, και φυλετική αναπαραγωγή μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία ενδιάμεσων χαρακτηριστικών	Όχι
Hugo de Vries (1889)	Pangens που υπάρχουν στον κυτταρικό πυρήνα σε δύο ομάδες (ενεργή και ανενεργή)	Pangens του ίδιου τύπου αλλά διαφορετικής προέλευσης μπορούν να ενεργοποιηθούν ή pangens τα οποία μπορεί να διαφέρουν ελαφρώς από τα αρχικά με κυτταρική διαίρεση	Όχι
August Weismann (δεκαετία 1880 & 1892)	Biophors που υπάρχουν στον κυτταρικό πυρήνα και σχηματίζουν μονάδες ανώτερης τάξης (καθοριστές, ids [ταυτότητες], idants)	Τροποποίηση συγκεκριμένων καθοριστών γαμετικού πλάσματος και διαφορικός συνδυασμός γονεϊκών id (ταυτοτήτων) κατά τη γονιμοποίηση	Όχι

2.2.2 20^{ος}-21^{ος} αιώνας

2.2.2.1 1900-1910 – Η ανακάλυψη του έργου του Mendel

Δύο λόγοι εκτίναξαν την πρόοδο στον τομέα της γενετικής μετά το 1900 και την κατανόηση της Μεντελικής κληρονομικότητας κατά τον Mayr (1982): α) η προσβασιμότητα της νέας θεωρίας σε όλη την επιστημονική κοινότητα, ώστε να επιδοθεί σε γενετικά πειράματα για τον έλεγχο της καθολικότητάς και β) το πρόσφορο έδαφος των επιτευγμάτων στον τομέα της κυτταρολογίας δεκαετίες πριν, που έδινε τη δυνατότητα εξηγήσεων γενετικών ανακαλύψεων με κυτταρολογικούς, ακόμα και χρωμοσωμικούς όρους.

Στις αρχές του 20^{ού} αιώνα, το 1900, τρεις βοτανολόγοι επιστήμονες ανακάλυψαν ταυτόχρονα το έργο του Mendel ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον, γεγονός που θα άλλαζε την εξέλιξη της γενετικής. Ο Ολλανδός Hugo de Vries (1848-1935) και ο Γερμανός Carl Erich Correns (1864-1933) μελετούσαν τον τρόπο μεταβίβασης μεταλλάξεων στους απογόνους του

φυτού του μπιζελιού, και παράλληλα με τον Αυστριακό Erich von Tschermak (1871-1962) κατέληξαν στα ίδια αποτελέσματα σχετικά με την υβριδοποίηση του μπιζελιού με αυτά του Mendel πριν 25 χρόνια (Morange, 2016/2017· Portin, 1993). Αυτή η εκ νέου ανακάλυψη των νόμων του Mendel θα θεμελιώναν τη νέα επιστήμη της κληρονομικότητας, που στη συνέχεια θα ονομαζόταν "γενετική". Ακόμα, επέτρεψε στους επιστήμονες να οριοθετήσουν την κληρονομικότητα ως ένα φαινόμενο που υπακούει σε κανόνες, σε σύγκριση με την ευελιξία με την οποία παρουσιαζόταν έως τότε (Pontarotti et al., 2022).

Σύντομα, ο Άγγλος William Bateson (1861-1926) χρησιμοποίησε το 1905 για πρώτη φορά τον όρο «γενετική» περιγράφοντας τη μελέτη της κληρονομικότητας, καθώς και επινόησε τους όρους «αλληλόμορφα» γονίδια για να εκφράσει τις διαφορετικές μορφές ενός γονιδίου καθώς και τους όρους του «ομοζυγώτη» και «ετεροζυγώτη» για να εκφράσει την ταυτότητα (ή όχι) των δύο αντιγράφων ενός γονιδίου (Morange, 2017· Καμπουράκης, 2017/2021). Στην εννοιολογική γλώσσα της νέας επιστήμης αυτής προστέθηκε και ο όρος «γονίδιο» που υιοθέτησε ο Δανός βοτανολόγος Wilhelm Johannsen (1857-1927) το 1909, καθώς και η διάκριση μεταξύ του γονοτύπου και φαινοτύπου (Pontarotti et al., 2022). Ο Johannsen θεωρούσε τα γονίδια πραγματικές οντότητες τα οποία θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν ως υπολογιστικές μονάδες, και τα σύγκρινε με τα υποθετικά κληρονομικά σωματίδια που αναφέρονταν σε θεωρίες οι οποίες είχαν διατυπωθεί νωρίτερα κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 50 ετών, όπως π.χ. τα gemmule του Δαρβίνου, τα biophore του Weismann, τα pangene, του De Vries κ.ά. (Portin, 1993· Καμπουράκης, 2017/2021). Ο Bateson από την άλλη, θεωρούσε όπως και άλλοι, ότι το γονίδιο δεν είναι μια πραγματικά υπαρκτή οντότητα αλλά κάτι άλλο, μία δόνηση, ένα κύμα, κάτι το εντελώς δυναμικό. Έτσι φαίνεται πως παρά τη ραγδαία εξέλιξη της γενετικής, ως μία αποτελεσματική μέθοδος η οποία έδινε τη δυνατότητα να προβλεφθούν εκ των προτέρων τα αποτελέσματα των διασταυρώσεων και η οποία ήταν αποδεκτή από τους πολλούς βιολόγους, οι γενετιστές δε συμφωνούσαν σχετικά με τη φύση του γονιδίου, γεγονός που καθιστούσε τη γενετική σε μία παράδοξη φάση (Morange, 2016/2017).

Αυτή η αβεβαιότητα για τα θεμέλια της γενετικής ήταν σημείο εκκίνησης για την προσπάθεια πολλών γενετιστών να συνδέσουν τα γονίδια με τα χρωμοσώματα μέσω των πειραμάτων τους, με πιο σημαντικό το έργο του Αμερικανού Walter Sutton (1877-1916) και Γερμανού Theodor Boveri (1862-1915). Οι ερευνητές αυτοί, το 1903, παραλλήλισαν τη μεταβίβαση των γονιδίων σύμφωνα με τους νόμους του Mendel, με αυτή των χρωμοσωμάτων μεταξύ των γενεών, σχηματίζοντας τη θεωρία ότι οι νόμοι της κληρονομικότητας του Mendel

θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στα χρωμοσώματα, στο κυτταρικό επίπεδο των ζώντων οργανισμών (Morange, 2016/2017· Portin, 1993).

2.2.2.2 Η χρωμοσωμική θεωρία του Morgan (1911-1941)

Βασιζόμενος στη θεωρία των χρωμοσωμάτων των Sutton και Boveri, ο Αμερικανός εμβρυολόγος Thomas Hunt Morgan (1866-1945) συνέβαλε με τη θεωρία του σε ένα νέο κομμάτι της γενετικής. Το 1910 ο Morgan ανακάλυψε ότι ορισμένα γονίδια μεταδίδονταν με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το φύλο της μύγας *Drosophila melanogaster* που τα έφερε, με τον ίδιο τρόπο που μεταδίδονται τα φυλετικά χρωμοσώματα. Έτσι, επιβεβαίωσε τόσο τον ρόλο των φυλετικών χρωμοσωμάτων στον καθορισμό του φύλου, όσο το ότι τα γονίδια μεταφέρονται πάνω στα χρωμοσώματα (Morange, 2003/2020), καθώς αυτά εδράζονται διαδοχικά πάνω στα χρωμοσώματα όπως οι χάντρες στο μήκος ενός σκοινιού όπως ανέφερε στο βιβλίο του το 1926 «*Η Θεωρία του Γονιδίου*» (*The Theory of the Gene*) (Καμπουράκης, 2017/2021).

Ακόμα, ο Morgan και οι συνεργάτες του συνέβαλαν στη θεώρηση της γονιδιακής λειτουργίας με διττό τρόπο: α) ανέδειξαν ότι η σχέση μεταξύ γονιδίων και χαρακτήρων που αυτά επηρεάζουν είναι πολλά – προς – πολλούς και όχι σχέση ενός – προς έναν, και β) ότι αλλαγές σε συγκεκριμένα γονίδια είναι εκείνες που επιφέρουν αλλαγές σε συγκεκριμένους χαρακτήρες.

Η χρωμοσωμική θεωρία της κληρονομικότητας, εγκαθίδρυσε από τη δεκαετία του 1930 και έπειτα, την κλασική θεώρηση του γονιδίου, όπου το γονίδιο είναι μια αόρατη μονάδα μεταβίβασης, ανασυνδυασμού, μετάλλαξης και λειτουργίας, με υλική υπόσταση σχετική με τα χρωμοσώματα (Portin, 1993). Παράλληλα, υπήρχαν ενδείξεις ότι τα χρωμοσώματα αποτελούνται από DNA (δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ) και πρωτεΐνες, ωστόσο η γενική συναίνεση ήταν πως το συστατικό των γονιδίων ήταν μάλλον οι πρωτεΐνες (Morange, 2003/2020).

2.2.2.3 Η μετάβαση στη μοριακή γενετική (1941-1952)

Σε αυτή τη μικρή χρονική περίοδο πραγματοποιήθηκαν δυο πολύ σημαντικές ανακαλύψεις που ανέτρεψαν τα μέχρι τότε δεδομένα σε σχέση με την υλική υπόσταση των γονιδίων και τη λειτουργία τους.

Με την εργασία τους το 1941 οι Αμερικανοί George Beadle (1903-1989) και Edward Tatum (1909-1975) στον μύκητα *Neurospora* (μούχλα του ψωμιού), απέδειξαν ότι το κάθε μεταβολικό στάδιο ρυθμίζεται από ένα διαφορετικό γονίδιο και γενίκευσαν τα αποτελέσματα

τους, διατυπώνοντας την υπόθεση: *ένα γονίδιο – ένα ένζυμο* (Morange, 2016/2017· Καμπουράκης, 2017/2021). Το αποτέλεσμα ήταν να περιγραφεί με πιο συγκεκριμένους, μοριακούς όρους η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου, μέσω ενός γονιδιακού προϊόντος, μιας πρωτεΐνης / ενζύμου, αν και εξακολουθούσε να παραμένει άγνωστη η σύσταση των γονιδίων (Καμπουράκης, 2017/2021).

Η ανακάλυψη της υλικής υπόστασης των γονιδίων δεν άργησε να έρθει, καθώς το 1944 οι Oswald Avery (1877-1955), Colin MacLeod (1909-1972) και Maclyn McCarty (1911-2005) έδειξαν μέσω των πειραμάτων τους στο βακτήριο *Diplococcus pneumoniae*, ότι η υλική βάση των γονιδίων αποτελείται από τα δεοξυριβονουκλεϊκά οξέα (DNA) και όχι από τις πρωτεΐνες (Pontarotti et al., 2022), βασιζόμενοι στην ανακάλυψη του Frederick Griffith (1877-1941) για το βακτηριακό μετασχηματισμό του πνευμονιόκοκκου το 1928 (Portin, 1993). Η επιβεβαίωση του γενετικού ρόλου του DNA επήλθε το 1952 όταν η Martha Chase (1927-2003) και ο Alfred Hershey (1908-1997) έχοντας ως ερευνητικό πειραματικό μοντέλο έναν βακτηριοφάγο, χρησιμοποίησαν μία μέθοδο σήμανσης των πρωτεϊνών και του DNA με ραδιοϊσότοπα, και απέδειξαν ότι όταν βακτηριοφάγος μολύνει το βακτήριο μέσα στο οποίο θα αναπαραχθεί, μόνο το DNA του, εισέρχεται στο συγκεκριμένο βακτήριο. Συνεπώς, το DNA είναι αυτό που φέρει τη γενετική πληροφορία και το οποίο δίνει τη δυνατότητα αναπαραγωγής του βακτηριοφάγου και όχι πρωτεΐνες (Morange, 2016/2017).

Συνεπώς στις αρχές της δεκαετίας του 1950, η έννοια του γονιδίου άρχισε να γίνεται αντιληπτή με ποικίλους διακριτούς τρόπους: α) ως η μονάδα της φυσιολογικής λειτουργίας, β) ως η μονάδα της μετάλλαξης ή/και γ) ως η μονάδα του ανασυνδυασμού μέσω επιχιασμού (Καμπουράκης, 2017/2021).

2.2.2.4 Το γονίδιο ως ένα τμήμα DNA (1953-1969)

Με την πρόταση του δομικού μοντέλου του DNA το 1953 από τους James Watson (1928-) και Francis Crick (1916-2004), χρησιμοποιώντας τη Φωτογραφία 51, ένα περιθλασίγραμμα του DNA της Rosalind Franklin (1920-1958) (Morange, 2016/2017), έγινε γνωστή η διπλή έλικα ως δομή του DNA, δείχνοντας ότι η αλληλουχία των βάσεων ήταν θεμελιώδης για τη γενετική λειτουργία του. Επιπλέον, από τότε και μετά έγινε κατανοητό ότι το DNA δεν εισέρχεται το ίδιο στην αναπτυξιακή πορεία, αλλά απλώς χρησιμεύει ως σύνολο οδηγιών και καθώς η επανάσταση της μοριακής βιολογίας τη δεκαετία του 1950 συνέπεσε με τη γέννηση της επιστήμης της πληροφορικής και ορισμένες από τις λέξεις-κλειδιά αυτού του πεδίου, όπως το πρόγραμμα και ο κώδικας, έγιναν διαθέσιμες για τη μοριακή γενετική (Morange, 2003/2020).

Έννοιες όπως το «γενετικό πρόγραμμα» ή το «αναπτυξιακό πρόγραμμα», χαρακτηρίζοντας το γονιδίωμα και ολόκληρο το κύτταρο αντίστοιχα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται συχνά και να ενισχύουν την νεοτερμινιστική πεποίθηση πως μόνο το DNA έχει σημασία, απομονώνοντάς το από το κυτταρικό πλαίσιο (Gericke & Hagberg, 2007).

Στο φως αυτής της ανακάλυψης, η κλασική θεώρηση του γονιδίου που είναι ταυτόχρονα μονάδα γενετικού ανασυνδυασμού, μεταλλάξεις, και λειτουργίας σταματά πια να είναι επαρκής και η ανάλυση του Seymour Benzer (1921-2007) κατά τα έτη 1955 έως 1961 σήμανε την τελική και οριστική ανακάλυψη του εννοιολογικού πλαισίου της νεοκλασικής θεώρησης του γονιδίου. Όρισε το cistron ως ισοδύναμο με ένα γονίδιο (μια αλυσίδα DNA), το muton (μονάδα μετάλλαξης) καθώς και το recon (μονάδα του ανασυνδυασμού) θεωρήθηκαν ισοδύναμα με ένα μόνο ζεύγος βάσεων στη δομή του DNA αποδεικνύοντας ότι ένα νουκλεοτίδιο είναι η μικρότερη μονάδα γενετικού υλικού που μπορεί να οδηγήσει σε τροποποιημένο φαινότυπο ή να διαχωριστεί από άλλες τέτοιες μονάδες κατά τον ανασυνδυασμό. Ακόμα, έδειξε πως υπάρχει μία αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας αλληλουχίας νουκλεοτιδίων στο DNA, το γονίδιο δηλαδή, είναι ένα συνεχόμενο τμήμα DNA που μεταγράφεται ως μία μονάδα σε αγγελιοφόρο RNA (mRNA), το οποίο κωδικοποιεί ένα μόνο πολυπεπτίδιο (Gericke & Hagberg, 2007· Portin, 1993· Καμπουράκης, 2017/2021).

2.2.2.5 Η σύγχρονη θεώρηση του γονιδίου (1970-21^{ος} αιώνας)

Στην έρευνα της γονιδιακής λειτουργίας μετά το 1970, άρχισε να διαφαίνεται με ποικίλους τρόπους η πολυπλοκότητα της γονιδιακής έκφρασης, καθώς παρατηρούνταν ένας αυξανόμενος αριθμός ανωμαλιών που το νεοκλασικό μοντέλο αδυνατούσε να εξηγήσει σε μία ή περισσότερες πτυχές για τους ανώτερους ευκαρυωτικούς οργανισμούς (Gericke & Hagberg, 2007). Αυτές τις νέες εξελίξεις και ανακαλύψεις της έρευνας στη γενετική συνοψίζει ο Portin (1993):

Το γονίδιο δεν είναι πλέον ένα σταθερό σημείο στο χρωμόσωμα, το οποίο ορίζεται από τη δοκιμή cis-trans και παράγει ένα μόνο αγγελιοφόρο RNA (mRNA). Αντίθετα, τα περισσότερα ευκαρυωτικά γονίδια αποτελούνται από διαιρεμένες αλληλουχίες DNA, οι οποίες συχνά παράγουν περισσότερα από ένα mRNA μέσω πολύπλοκων υποκινητών ή/και εναλλακτικής συναρμογής (σ.ε. συρραφής, διαδικασίας ωρίμανσης). Επιπλέον, οι αλληλουχίες DNA είναι κινητές από ορισμένες απόψεις και οι πρωτεΐνες που παράγονται από ένα μόνο γονίδιο υποβάλλονται σε επεξεργασία στα επιμέρους συστατικά τους.

Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται η επεξεργασία του πρωτογενούς μετάγραφου πριν από τη μετάφραση, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από διαφορετικές μονάδες και καταρρίπτοντας έτσι την ένα-προς-ένα αντιστοιχία μεταξύ γονιδίου και mRNA. Τέλος, η εμφάνιση «φωλιασμένων» (nested) γονιδίων ακυρώνει την απλούστερη και παλαιότερη ιδέα της γραμμικής διάταξης των γονιδίων στην ομάδα σύνδεσης, και η γονιδιακή συναρμογή καταρρίπτει ομοίως την ιδέα της απλής αντιστοιχίας ένα-προς-ένα μεταξύ του γονιδίου ως μονάδας μετάδοσης και της γονιδιακής λειτουργίας.

Ο Portin (2002) παραθέτει και άλλες τέτοιες ανακαλύψεις σε μεταγενέστερη δημοσίευσή του που αντιτίθενται στη νεοκλασική θεώρηση του γονιδίου, όπως για παράδειγμα τα επικαλυπτόμενα γονίδια, τα επαναλαμβανόμενα γονίδια, τα κινητά γονίδια, τις πολλαπλές θέσεις πολυαδενυλίωσης και άλλες, που εμπίπτουν στις κατηγορίες που ορίζει και ο Καμπουράκης (2017/2002) και που έχουν να κάνουν με τη θέση του γονιδίου, δομικές παραλλαγές γονιδίου, την επιγενετική και τη δομή του χρωμοσώματος, τα μετα-μεταγραφικά και μετα-μεταφραστικά συμβάντα.

Επομένως, ο ορισμός του γονιδίου ως διακριτή μονάδα DNA με συγκεκριμένα όρια του νεοκλασικού μοντέλου καταργείται, καθώς και η σχέση ενός γονιδίου – μιας πρωτεΐνης. Ένα γονίδιο ορίζεται πια βάσει των λειτουργικών προϊόντων που παράγει. Δεν υπάρχει πλέον μια αληθινή και γενική περιγραφή – αντίθετα, παίρνει διαφορετικό νόημα για διαφορετικούς επιστήμονες. Η λειτουργία δεν είναι πλέον αποκλειστικά η παραγωγή ενός πολυπεπτιδίου. Αντ' αυτού υπάρχουν διάφορες κατηγορίες γονιδίων, όπως γονίδια που παράγουν ένζυμα, γονίδια που παράγουν δομικές (μη διαλυτές) πρωτεΐνες, ρυθμιστικά γονίδια και γονίδια που κωδικοποιούν RNA-μόρια. Το γονίδιο θεωρείται περισσότερο ως μια διαδικασία, η οποία ορίζεται όταν δρα στο κάθε πλαίσιο που δρα. Η πληροφορία στο μοντέλο πηγαίνει προς μία κατεύθυνση από το DNA προς τα πολυπεπτίδια ή τα μόρια RNA (Gericke & Hagberg, 2007· Καμπουράκης, 2017/2021).

2.3 Μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία – στο εκπαιδευτικό πλαίσιο

2.3.1 Μοντέλα στην εκπαιδευτική διαδικασία

Τα μοντέλα και η σημασία τους στη διδασκαλία των (φυσικών) επιστημών έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία των (φυσικών) επιστημών ως απλοποιημένες αναπαραστάσεις φαινομένων, προσφέροντας πολύτιμα εργαλεία επεξήγησης για τον τρόπο λειτουργίας των φαινομένων

αυτών (Gericke et al., 2013· Gericke & Hagberg, 2007). Δεν υπάρχει ενιαίος ορισμός του όρου μοντέλο στη βιβλιογραφία, και δεν υπάρχει συναίνεση σχετικά με τη χρήση του όρου, είτε μεταξύ φιλοσόφων της επιστήμης είτε μεταξύ εκπαιδευτικών. Τα μοντέλα κατασκευάζονται από διάφορες σχετικές έννοιες που αφορούν σε ένα σύστημα ή μια διαδικασία, οι οποίες αποτελούν τα στοιχειώδη δομικά στοιχεία του μοντέλου. Αποδεκτά μοντέλα για τους επιστήμονες είναι αυτά που έχουν δημιουργηθεί και ελεγχθεί από την επιστημονική κοινότητα, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν εμπειρικά φαινόμενα με τη μορφή φυσικών συστημάτων και διαδικασιών (Gericke et al., 2013· Santos et al., 2012).

Τα επιστημονικά αυτά μοντέλα φέρουν δύο κύρια χαρακτηριστικά, τον στόχο τον οποίο αναπαριστούν και τον σκοπό για τον οποίο έχουν κατασκευαστεί. Η φύση και ο ρόλος των μοντέλων που περιγράφονται από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ζωτικής σημασίας στην κατανόηση αλλά και στη χρήση τους τόσο από τους ερευνητές και τους εκπαιδευτικούς ή τις/τους μαθήτριες/τές.

Αντίστοιχα με τον σκοπό των μοντέλων στην επιστημονική διερεύνηση που είναι κυρίως η πρόβλεψη ή η ερμηνεία, κεντρικό ρόλο παίζουν αυτές οι λειτουργίες τους και στη διδακτική διαδικασία (Ζουπίδης, 2012). Ο ρόλος των μοντέλων αποτελεί πιο αναγνωρίσιμη ιδιότητα ενός μοντέλου για τις/τους μαθήτριες/τές, όπως παρατήρησαν σε έρευνά τους οι Treagust et al. (2002). Καθώς δυσκολεύονται στην αντίληψη της φύσης των μοντέλων, οι μαθήτριες/τές κατανοούν πιο αποτελεσματικά την περιγραφική τους ιδιότητα ως μία αναπαράσταση του στόχου, όπως είναι τα απλά φυσικά μοντέλα απεικόνισης αντικειμένων (Treagust et al., 2002) τα οποία και μπορούν να αποτελέσουν σημείο εκκίνησης για τη συζήτηση γύρω από τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων όπως αναλύει και ο Ζουπίδης (2012) ενισχύοντας την άποψη ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με αυτό το συγκεκριμένο θέμα. Οι ερευνητές βρίσκουν κοινά σημεία στην αναγκαιότητα της σαφήνειας στη διδασκαλία των μοντέλων ή/και της διαδικασίας της μοντελοποίησης, που αφορά στην οικοδόμηση και αναθεώρηση των μοντέλων των μαθητριών/τών. Ακόμα, συνεχίζουν με τη διαπίστωση πως είναι αναγκαία η έμφαση στη φύση και τον ρόλο των μοντέλων στην εκπαίδευση αναφορικά με πτυχές περισσότερο συνυφασμένες με την κοινωνία και όχι επικεντρωμένες μόνο στην ίδια την επιστήμη, καθώς μπορεί να συνεισφέρει στην κατάρριψη παρανοήσεων που φέρουν οι μαθήτριες/τές αναφορικά με τη σχέση μοντέλου και πραγματικότητας που αυτό αναπαριστά (Ζουπίδης, 2012). Από τις διαφορές του μοντέλου σε σχέση με την πραγματικότητα που αναπαριστά απορρέουν πλεονεκτήματα και περιορισμοί για κάθε μοντέλο που σύμφωνα με τη Χαλκιά (2011) είναι σημεία που ενισχύουν ή και δημιουργούν εναλλακτικές ιδέες για τα θέματα που διδάσκονται.

Καθώς η γενική κατανόηση των μοντέλων αποτελεί μέρος της Φύσης των Επιστημών (Nature of Science, NOS), είναι σημαντική η χρήση τους στη συγγραφή των διδακτικών εγχειριδίων, στην ανάπτυξη των αναλυτικών προγραμμάτων και στην ανάπτυξη διδακτικών ακολουθιών διδασκαλίας-μάθησης (Aivelo & Uitto, 2015· Gericke et al., 2013). Σε χώρες όπως η Σουηδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (Η.Π.Α.) η κατανόηση και χρήση των μοντέλων στην εκπαιδευτική διαδικασία έχουν συμπεριληφθεί στα αναλυτικά προγράμματα σπουδών της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, όπως φαίνεται από τα παρακάτω αποσπάσματα (Gericke et al., 2013):

- «Η σκέψη με όρους μοντέλων είναι κεντρική σε όλες τις φυσικές επιστήμες», καθώς ένας από τους στόχους στο αναλυτικό πρόγραμμα της βιολογίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι «η ανάπτυξη της ικανότητας (των μαθητριών/τών) να χρησιμοποιούν βιολογικές θεωρίες και μοντέλα» (Η Εθνική Σουηδική Υπηρεσία για την Εκπαίδευση - The Swedish National Agency for Education)
- «Ο κύριος στόχος είναι για τις/τους μαθήτριες/τές να μάθουν πώς να δημιουργούν και να χρησιμοποιούν μοντέλα σε διαφορετικά πλαίσια» (Αμερικανική Ένωση για την Πρόοδο της Επιστήμης - American Association for the Advancement of Science (AAAS)).

2.3.2 Μοντέλα για την έννοια του γονιδίου

Η εννοιολογική ποικιλότητα της έννοιας του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας έχει απασχολήσει πολλές/ούς ερευνήτριες/τές ανά τα χρόνια, είτε από τη σκοπιά της Ιστορίας της Επιστήμης (History Of Science, HOS) και της φιλοσοφίας (Falk, 2014· Fogle, 1990· Portin, 1993, 2002), ή από την οπτική της διδασκαλίας της γενετικής (Albuquerque et al., 2008· Flodin, 2017· Gericke & Hagberg, 2007, 2010b· Smith & Adkison, 2010· Αμπατζίδης & Καμπουράκης, 2022). Η εννοιολογική ποικιλότητα από μόνη της δεν είναι ζήτημα, καθώς πολλοί επιστημονικοί όροι είναι πολυσήμαντοι. Το πρόβλημα με την έννοια του γονιδίου είναι πως τα πλαίσια στα οποία χρησιμοποιείται είναι πολλές φορές ασαφή, με κίνδυνο να δημιουργείται αμφισημία ή εννοιολογικές παρανοήσεις. Παρ' όλα αυτά δεν είναι απαραίτητη μία ενιαία, γενική έννοια του όρου έτσι ώστε να εξυπηρετήσει πρακτικές ανάγκες στη γενετική έρευνα ή στη διδασκαλία. Είναι απαραίτητο ωστόσο το νόημα και το πεδίο εφαρμογής κάθε έννοιας να είναι σαφώς οριοθετημένα τόσο στην επιστημονική όσο και στην επιστημονική εκπαίδευση (Albuquerque et al., 2008· El-Hani, 2007).

Ο Portin (1993) κάνοντας μια ιστορική αναδρομή στην έννοια του γονιδίου διαχώρισε την εξέλιξη της έννοιας σε τρεις βασικές κατηγορίες. Αρχικά, την κλασική θεώρηση του γονιδίου που επικρατούσε στη διάρκεια της δεκαετίας του 1930, όπου αντιλαμβάνονταν το γονίδιο ως μια αδιαίρετη μονάδα γενετικής μετάδοσης, συνδυασμού και λειτουργίας. Η καθιέρωση του DNA ως υλική υπόσταση της κληρονομικότητας και η ανακάλυψη του ανασυνδυασμού στις αρχές του 1940 οδήγησε στη νεοκλασική έννοια του γονιδίου, και τέλος, το σύγχρονο γονίδιο που ως έννοια συμπεριλαμβάνει τις νέες ανακαλύψεις στη γενετική (επαναλαμβανόμενα γονίδια, επικαλυπτόμενα γονίδια κ.ά.) από τη δεκαετία του 1970 και έπειτα.

Σε αυτές τις θεωρήσεις του γονιδίου (κλασική, νεοκλασική, σύγχρονη) βασίζονται και μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπαιδευτική έρευνα, κυρίως για την ανάλυση σχολικών εγχειριδίων για τη διερεύνηση του τρόπου παρουσίασης της έννοιάς του. Ο Albuquerque και οι συνεργάτες του (2008), για παράδειγμα, χρησιμοποίησαν έξι διαφορετικές έννοιες του γονιδίου για να περιγράψουν τον τρόπο που το γονίδιο παρουσιάζεται σε τρία διδακτικά εγχειρίδια βιολογίας: την κλασική μοριακή έννοια που το γονίδιο ορίζεται ως δομική ή/και λειτουργική μονάδα, το γονίδιο ως φορέα πληροφορίας, το γονίδιο-P (Gene-P) όπου το γονίδιο καθορίζει το φαινότυπο, το γονίδιο-D (gene-D) όπου το γονίδιο είναι ανεξάρτητο από τον φαινότυπο και εξυπηρετεί την αντιστοιχία αλληλουχιών DNA με πολυπεπτιδικά προϊόντα, τη Μεντελική θεώρηση όπου το γονίδιο είναι μονάδα κληρονομικότητας και την εξελικτική έννοια του γονιδίου όπου το γονίδιο είναι ένα τμήμα DNA που ανταγωνίζεται με άλλα αλληλόμορφα για μία περιοχή στο χρωμόσωμα.

Οι Gericke και Hagberg (2007) συστηματοποίησαν την εννοιολογική ποικιλότητα του γονιδίου και της λειτουργίας του και κατασκεύασαν πέντε μοντέλα που το περιγράφουν, αντικατοπτρίζοντας την ιστορική εξέλιξή του, με σκοπό την ανάλυση διδακτικών εγχειριδίων βιολογίας. Τα ιστορικά μοντέλα είναι το Μεντελικό, το κλασικό, το βιοχημικό-κλασικό, το νεοκλασικό και το σύγχρονο, που περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, καθώς αποτελούν το πλαίσιο του ερευνητικού εργαλείου για την παρούσα μελέτη.

Οι Smith και Adkison (2010) επικαιροποίησαν το μοντέλο του γονιδίου, χωρίζοντας τη σύγχρονη έννοια σε δύο μοντέλα γονιδίου, το μοντέλο του προγράμματος του ανθρώπινου γονιδιώματος (Human Genome Project, HGP) και το πρόγραμμα της εγκυκλοπαίδειας των στοιχείων του DNA (ENCyclopedia Of DNA Elements, ENCODE). Επίσης, αναθεώρησαν και πρόσθεσαν ορισμένες πληροφορίες όσον αφορά το μοντέλο του γονιδίου που είχαν αναπτύξει οι Gericke και Hagberg (2007), ιδίως όσον αφορά τη σημασία των περιβαλλοντικών

παραγόντων και τον λειτουργικό ορισμό που υιοθετούν οι γενετιστές σε μια συζήτηση που περιλαμβάνει τον όρο «γονίδιο».

H Flodin (2009, 2017) διερευνώντας τις συνέπειες των διαφορετικών εννοιολογικών σχημάτων για το γονίδιο στη διδασκαλία της γενετικής και μελετώντας την εννοιολογική ποικιλότητα που παρουσιάζεται σε διαφορετικούς τομείς της βιολογίας, κατηγοριοποίησε το γονίδιο σε τέσσερα πλαίσια. Το γονίδιο ως χαρακτηριστικό/γνώρισμα, το γονίδιο ως πληροφοριοδότη – δομή, ως παράγοντα δράσης, ως ρυθμιστή και ως δείκτη, κατηγορίες που συνδέονται με τη γενετική μεταβίβασης, τη μοριακή βιολογία, τη γονιδιωματική, την αναπτυξιακή βιολογία και την γενετική πληθυσμών αντίστοιχα. Αυτές οι διαφορετικές πτυχές του γονιδίου, όπως παρουσιάζονται σε διαφορετικά πλαίσια, ανάλογα με το σημείο ενδιαφέροντος, το ερώτημα που τίθεται και τις διαθέσιμες μεθόδους, δεν αλλοιώνουν το νόημα της έννοιας του γονιδίου, αλλά προσφέρουν διαφορετικές οπτικές ανάλογα με το ερώτημα που τίθεται κάθε φορά.

Το κλασικό, το μοριακό γονίδιο και τη συνύπαρξή τους ως κατηγοριοποίηση χρησιμοποιούν και οι Αμπατζίδης και Καμπουράκης (2022) για την ανάλυση στα διδακτικά εγχειρίδια βιολογίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Το κλασικό γονίδιο εδράζεται στα χρωμοσώματα και σχετίζεται με ένα φαινοτυπικό χαρακτηριστικό, ενώ το μοριακό γονίδιο είναι μια αλληλουχία DNA που περιέχει πληροφορίες για τη σύνθεση ενός λειτουργικού μορίου. Καταλήγουν πως οι διαφορετικές επιμέρους έννοιες μπορεί να συνυπάρχουν στο ίδιο σχολικό βιβλίο και στη διδασκαλία, και είναι καίριας σημασίας η ανάδειξη από τις/τους εκπαιδευτικούς των διαφορών αυτών και η εξήγηση της προέλευσης αυτών των διαφορών από την εννοιολογική ποικιλότητα και όχι από ασυνέπεια, προς αποφυγή παρανοήσεων. Μάλιστα, για αποφυγή δημιουργίας παρανοήσεων σε μαθήτριες/τές οι Burian και Kampourakis (2013) για την αποφυγή πιθανής σύγχυσης προτείνουν την αντικατάσταση του όρου «γονίδιο» με αυτή του «γενετικού υλικού», που ορίζεται ως κάθε νουκλεϊκό οξύ με την τάση να κληρονομείται και να αλληλοεπιδρά με άλλα κυτταρικά συστατικά ως πηγή πληροφοριών αλληλουχίας, η οποία τελικά επηρεάζει ή εμπλέκεται σε κυτταρικές διεργασίες με τοπικό ή εκτεταμένο αντίκτυπο.

2.3.3 Ιστορικά πολλαπλά μοντέλα της έννοιας και λειτουργίας του γονιδίου των Gericke και Hagberg

Στη διδασκαλία της γενετικής, η χρήση των μοντέλων και της μοντελοποίησης έχει επισημανθεί ως σημαντικό στοιχείο για τη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των

μαθητριών/τών (Gericke et al., 2013). Εντούτοις, έχει διαπιστωθεί ότι η δυσκολία κατανόησης της γενετικής από τις/τους μαθήτριες/τές που προαναφέρθηκε εντοπίζεται στην ασυνεπή και σε μεγάλο βαθμό ανιστορική παρουσίαση των μοντέλων των γονιδίων και της λειτουργίας τους (Santos et al., 2012).

Από το 1909 όταν ο Wilhelm Johannsen εισήγαγε τον όρο «γονίδιο» μέχρι σήμερα η έννοια του γονιδίου έχει λάβει πολλές σημασιοδοτήσεις, με αποτέλεσμα να συνυπάρχουν πια πολλαπλά επιστημονικά μοντέλα (εννοιολογική ποικιλότητα - conceptual variation) του γονιδίου ανάλογα με τα διαφορετικά ιστορικά επιστημονικά πλαίσια (Agorram et al., 2010· Gericke et al., 2013). Οι Gericke και Hagberg (2007) εισήγαγαν ένα πλαίσιο για τη διερεύνηση της έννοιας του γονιδίου και της λειτουργίας του σε σχολικά εγχειρίδια. Θεώρησαν ένα μοντέλο στην επιστήμη ως την αναπαράσταση ενός φαινομένου που παράγεται αρχικά για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Το μοντέλο, στην έρευνά τους, είναι μια απλοποίηση του φαινομένου που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη περαιτέρω εξηγήσεων του φαινομένου. Ένα μοντέλο είναι, επομένως, ένα σύστημα συναφών εννοιών, όπου οι έννοιες αποκτούν τη σημασία τους μόνο όταν χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του μοντέλου, ως συντελεστές της δομής του μοντέλου. Ένα επιστημολογικό μοντέλο, είναι αποτέλεσμα συμφωνίας επιστημόνων που έχει περάσει από συγκρίσεις και δοκιμές (Gericke & Hagberg, 2010b). Με αυτόν τον τρόπο, για έννοιες που έχουν υποστεί πολλαπλές εννοιολογικές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου, όπως το γονίδιο, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά επιστημολογικά μοντέλα, ιστορικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν το ίδιο φαινόμενο, για αυτό και ονομάζονται πολλαπλά μοντέλα.

Οι Gericke και Hagberg (2007) κατηγοριοποίησαν την έννοια του γονιδίου σε πέντε ιστορικά μοντέλα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη εποχή που χαρακτηρίζεται από την πρόοδο της γενετικής έρευνας. Η ιδέα ενός αόρατου κληρονομικού παράγοντα, του γονιδίου, που επηρεάζει ένα χαρακτηριστικό ή μια λειτουργία ενός οργανισμού είναι κοινή σε όλα τα μοντέλα. Ωστόσο, τα μοντέλα διαφέρουν ως προς τον τρόπο που περιγράφονται και κατανοούνται, αφού κάθε ένα αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας του γονιδίου όπως αυτή έγινε αντιληπτή στην ιστορική εξέλιξη της Βιολογίας. Έτσι, μεταξύ των μοντέλων, υπάρχει μια μετατόπιση στις σχέσεις μεταξύ των εννοιών που περιγράφουν τον κόσμο και τον ίδιο τον κόσμο (Gericke et al., 2013).

Οι ερευνητές βάσισαν τη μέθοδο ορισμού των μοντέλων σε μια μέθοδο που περιγράφεται από τους Justi και Gilbert (1999), όπου προσδιορίζεται το κύριο χαρακτηριστικό που αποτελεί τη θεμελιώδη επιστημονική ιδέα που είναι κοινή σε όλα τα μοντέλα και, στη συνέχεια, τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά των μοντέλων που είναι ιδέες που συμπληρώνουν

τα κύρια χαρακτηριστικά. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο ολοκληρωμένος χαρακτηρισμός ενός μοντέλου. Τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά των μοντέλων, που διαφέρουν μεταξύ των μοντέλων, αναφέρονται ως επιστημολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία αντιπροσωπεύουν τομείς όπου η επιστημονική κατανόηση της γονιδιακής λειτουργίας διέφερε μεταξύ των ιστορικών μοντέλων (Gericke & Hagberg, 2010a). Διατύπωσαν επτά επιστημολογικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 2) που περιγράφουν: 1) τη σχέση μεταξύ της δομής και της λειτουργίας του γονιδίου, 2) τη σχέση μεταξύ του οργανωτικού επιπέδου και του καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας, 3) την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της λειτουργίας του γονιδίου, 4) τη σχέση μεταξύ γονότυπου και φαινότυπου, 5) τις ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών (φυσιοκρατικών) σχέσεων στα μοντέλα, 6) το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας και 7) τη σχέση μεταξύ γενετικών και περιβαλλοντικών παραγόντων. Οι διαφορές μεταξύ των επιστημολογικών χαρακτηριστικών αντικατοπτρίζονται από τα χαρακτηριστικά-μεταβλητές, τα οποία από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως «χαρακτηριστικά» καθώς αντιπροσωπεύουν κάθε φορά την κατηγορία του επιστημολογικού χαρακτηριστικού. Τα πέντε ιστορικά μοντέλα που ανέπτυξαν οι Gericke και Hagberg (2007), το Μεντελικό, το κλασικό, το βιοχημικό-κλασικό, το νεοκλασικό και το σύγχρονο, αποτελούνται από διαφορετικούς συνδυασμούς των επιστημολογικών χαρακτηριστικών (Πίνακας 3) και αντιπροσωπεύουν μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο η γονιδιακή λειτουργία γινόταν αντιληπτή μέσα στην ιστορία (Πίνακας 4), όπως περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Καθώς το πλαίσιο της έρευνάς τους ήταν η ανάλυση διδακτικών εγχειριδίων για τον εντοπισμό των μοντέλων της γονιδιακής λειτουργίας, έλαβαν υπόψη τους ότι οι συγγραφείς των εγχειριδίων αυτών συχνά συνδυάζουν ιστορικά μοντέλα στη γραφή τους, γεγονός που αποτελεί και πηγή σύγχυσης σε μαθήτριες/τές. Για αυτή την ταυτόχρονη χρήση επιστημολογικών χαρακτηριστικών που προέρχονται από δύο ή περισσότερα ιστορικά μοντέλα, οι Gericke και Hagberg (2010a) υιοθέτησαν τον όρο «υβριδικά μοντέλα» των Justi και Gilbert (2000). Οι τελευταίοι επιστούν την προσοχή στις λογικές ασυνέπειες, αντιφάσεις, αλλά και στις εννοιολογικές ασάφειες που μπορεί να παρουσιάσουν τέτοια υβριδικά μοντέλα, δεδομένου ότι διαφορετικά ιστορικά μοντέλα αναπτύσσονται μέσα σε διαφορετικά επιστημονικά πλαίσια.

Επομένως, και στο πλαίσιο της διδασκαλίας η μάθηση σχετικά με την ανάπτυξη και την εξέλιξη των ιστορικών επιστημονικών μοντέλων θα μπορούσε να αποτελέσει έναν τρόπο βελτίωσης της επιστημονικής εκπαίδευσης, καθώς δίνεται έμφαση στο πλαίσιο στο οποίο οικοδομείται ένα μοντέλο. Επίσης, με τη διδασκαλία των ιστορικών μοντέλων σκιαγραφούνται

οι ελλείψεις και η επεξηγηματική ικανότητα ενός συγκεκριμένου μοντέλου συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη κατανόηση του από τις/τους μαθήτριες/τές (Justi, 2000). Η κατανόηση της γενετικής από τις/τους μαθήτριες/τές, όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία της επιστημονικής εκπαίδευσης, εξετάζεται από την οπτική γωνία της επιστημονικής μοντελοποίησης. Διερευνάται η σχέση μεταξύ των επιστημολογικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται στη γενετική και των ιδεών των μαθητριών/τών για τη γενετική (Gericke & Hagberg 2007). Μόνο αν η ανάπτυξη και η εξέλιξη των ιστορικών αυτών επιστημονικών μοντέλων, που περιέχουν διαφορετικούς ορισμούς του γονιδίου, ενσωματωθούν στη διαδικασία της διδασκαλίας μπορούν να συνεισφέρουν στη βελτίωση της εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών (Gericke & Hagberg, 2007).

Πίνακας 2. Περιγραφή των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των διδακτικών εγχειριδίων (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012)

Επιστημολογικά χαρακτηριστικά- μεταβλητές	Εξήγηση
1	Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου
1a	Το γονίδιο είναι μια αφηρημένη οντότητα και δεν έχει δομή.
1b	Το γονίδιο είναι ένα σωματίδιο πάνω στο χρωμόσωμα.
1c	Το γονίδιο είναι ένα τμήμα DNA.
1cx	Το γονίδιο και οι λειτουργίες του σχετίζονται με το DNA. (Christidou & Papadopoulou, 2020)
1d	Το γονίδιο αποτελείται από ένα ή περισσότερα DNA τμήματα με διάφορους σκοπούς.
1e	Το γονίδιο είναι φορέας και/ή μονάδα πληροφορίας. (Santos et al., 2012)
1f	Το γονίδιο υπάρχει σε συχνότητες. (Christidou & Papadopoulou, 2020)
2I	Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού προς γονιδιακής λειτουργίας
2Ia	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο- και συμβολικό επίπεδο.
2Ib	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο- και κυτταρικό επίπεδο.
2Ibx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο-, κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο.
2Ic	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μοριακό επίπεδο.
2Icx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο.
2Icy	Το μοντέλο έχει οντότητες στο φαινοτυπικό και στο μοριακό επίπεδο. (Santos et al., 2012)
2II	Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού προς γονιδιακής λειτουργίας
2IIa	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι ένα-προς-ένα.

2Πb	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι πολλά-προς-πολλά.
3	Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας
3a	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από πάνω προς τα κάτω (top-down).
3b	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up).
3c	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται μέσω μιας διαδικασίας.
4	Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου
4a	Δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου.
4b	Υπάρχει διαχωρισμός, χωρίς επεξήγηση, μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου.
4c	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου με ένα ένζυμο ως διαμεσολαβητή.
4d	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου, που εξηγείται διαδικασίες.
4e	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου, με χρωμοσωμική εξήγηση. (Christidou & Papadopoulou, 2020)
5I	Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα
5Ia	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι ιδεαλιστικές.
5Ib	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι νατουραλιστικές.
5II	Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα
5IIa	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι αιτιακές και μηχανιστικές.
5IIb	Οι σχέσεις στο μοντέλο διέπονται από μια διαδικασία και είναι ολιστικές.
6	Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας
6a	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο συμβολικό επίπεδο.
6b	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο κυτταρικό επίπεδο.
6bx	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο μοριακό επίπεδο.
6c	Δεν υπάρχει επαγωγική ερμηνεία.
7	Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων
7a	Δε συμπεριλαμβάνονται περιβαλλοντικά στοιχεία.
7ax	Περιβαλλοντικά και γενετικά στοιχεία οδηγούν σε ένα γνώρισμα / προϊόν / λειτουργία.
7b	Περιβαλλοντικά στοιχεία υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα.
7c	Περιβαλλοντικά στοιχεία εμφανίζονται ως μέρος μιας διαδικασίας.

Πίνακας 3. Τα μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία, με τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά - μεταβλητές που τα περιγράφουν (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012).

Μοντέλα γονιδιακής λειτουργίας	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά - μεταβλητές								
	1	2I	2II	3	4	5I	5II	6	7
Μεντελικό μοντέλο	1a	2Ia	2IIa	3a	4a	5Ia	5IIa	6a	7a
Κλασικό μοντέλο	1b	2Ib	2IIb	3a	4b, 4e	5Ia	5IIa	6b	7a
Βιοχημικό-κλασικό μοντέλο	1b	2Ib	2IIa & 2IIb	3a & 3b	4c	5Ia	5IIa	6b	7a
Νεοκλασικό μοντέλο	1c, 1cx, 1e	2Ic	2IIa	3b	4d	5Ib	5IIa	6c	7b
Σύγχρονο μοντέλο	1d	2Ic	2IIb	3c	4d	5Ib	5IIb	6c	7c
Μη-ιστορικά αταξινόμητα χαρακτηριστικά*	1f	2Ibx, 2Icx, 2Icy						6bx	7ax

*δεν κατηγοριοποιούνται σε κάποιο ιστορικό μοντέλο, προκύπτουν από την ανάλυση διδακτικών εγχειριδίων των Gericke & Hagberg (2010a), Santos κ.ά. (2012), και Christidou & Papadopoulou (2020).

2.3.3.1 Το Μεντελικό μοντέλο (~1900-1910)

Το αρχικό μοντέλο επικεντρώνεται στην εποχή που επανανακαλύφθηκε το έργο του Mendel, απεικονίζοντας το γονίδιο ως ένα υποθετικό κατασκεύασμα, χωρίς δεδομένη υλική υπόσταση, που είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση ή τον καθορισμό των χαρακτηριστικών. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, δεν υπήρχε διάκριση μεταξύ φαινότυπου και γονότυπου, με τον γονότυπο να θεωρείται ως το μικροσκοπικό στοιχείο του φαινότυπου που καθόριζε τα χαρακτηριστικά χωρίς καμία σχέση με τις χημικές ή φυσιολογικές διαδικασίες. Το μοντέλο περιγράφει τη γονιδιακή λειτουργία στο φαινομενολογικό επίπεδο, καθώς όλες οι οντότητες του γονιδίου ανήκουν στο συμβολικό επίπεδο, δεδομένου ότι δεν υπάρχει υλική υπόσταση των οντοτήτων. Ακόμα, δεν λαμβάνονται περιβαλλοντικοί παράγοντες στο μοντέλο αυτό.

2.3.3.2 Το κλασικό μοντέλο (~1911-1940)

Το κλασικό μοντέλο αντικατοπτρίζει τη γονιδιακή θεώρηση μετά τη διατύπωση της χρωμοσωμικής θεωρίας κληρονομικότητας του Morgan το 1911. Χρησιμοποιώντας τις τεχνικές χαρτογράφησης, τα γονίδια απεικονίστηκαν στο χρωμόσωμα, ως χάντρες σε σειρά. Τα γονίδια ήταν συνδεδεμένα στο χρωμόσωμα, αλλά μπορούσαν να διαχωριστούν με ανασυνδυασμό. Κάθε γονίδιο θεωρήθηκε ως αδιαίρετο σωματίδιο/μονάδα πάνω στο χρωμόσωμα, με ασαφή υλική υπόσταση που μπορούσε να περιγραφεί ως μονάδα γενετικής μεταβίβασης, ανασυνδυασμού, μετάλλαξης και λειτουργίας.

Από τις πιο διαδεδομένες αντιλήψεις της εποχής, η οποία ανάγεται μεταξύ άλλων στον Weismann, ήταν ότι τα γονίδια ήταν ένζυμα ή δρούσαν σαν ένζυμα, λειτουργώντας ως καταλύτες για τις χημικές διεργασίες στο σώμα, οι οποίες οδηγούσαν σε φυσικά χαρακτηριστικά. Υπήρχε δηλαδή σαφής διαχωρισμός γονότυπου – φαινότυπου, αλλά χωρίς εξήγηση της γονιδιακής λειτουργίας μέσα το κύτταρο. Επιπλέον, δεν λαμβάνονται περιβαλλοντικοί παράγοντες στο μοντέλο αυτό.

2.3.3.3 Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο (~1941-1952)

Το ερευνητικό ενδιαφέρον στην έρευνα στις δεκαετίες 1940 και 1950 μετατοπίστηκε από την κλασική γενετική της αναπαραγωγής και κυτταρολογίας των ζώων, στη μικροβιολογία. Αυτό σε συνδυασμό με την εγκαθίδρυση των μονοκύτταρων οργανισμών ως οργανισμών-μοντέλων, αντί της *Drosophila*, όπου τα βιοχημικά μονοπάτια που εξετάζονταν αφορούσαν μοναδικά γονίδια να ελέγχουν ένα βήμα σε μια αλυσίδα αντιδράσεων, οδήγησαν στην έμφαση των ερευνών στη λειτουργία και πιο συγκεκριμένα στις αναπτυξιακές διεργασίες. Το 1941 που οι

Beadle και Tatum πρότειναν την υπόθεση της αντιστοιχίας ενός γονιδίου – ένα ένζυμο, όπου ένα γονίδιο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή μιας πρωτεΐνης, ενίσχυσε την αντίληψη αυτή, που αποδείχθηκε αργότερα πως ισχύει κυρίως για τα μικροβιακά γονίδια.

Παρά το ίδιο εννοιολογικό πλαίσιο της κλασικής γενετικής, το νέο μοντέλο δίνει μια υλική και βιοχημική εξήγηση της γονιδιακής λειτουργίας στο κύτταρο επίπεδο, αλλά δεν έχει επεξηγηματική ισχύ όταν το γονίδιο παράγει ένζυμα, στο υποκυτταρικό (μοριακό) επίπεδο, και επομένως η σύνδεση με τα χαρακτηριστικά στο μακρο-επίπεδο είναι ασαφής. Τέλος, δεν λαμβάνονται περιβαλλοντικοί παράγοντες στο μοντέλο αυτό. Σε αυτό το μοριακό μοντέλο το επίκεντρο μετατοπίζεται από το σωματιδιακό γονίδιο, σε ένα γονίδιο που αποτελείται από κώδικες και πληροφορίες, υιοθετώντας την ορολογία από την επιστήμη της πληροφορικής που η άνθισή της συνέπεσε με αυτή της μοριακής βιολογίας τη δεκαετία του 1950.

2.3.3.4 Το νεοκλασικό μοντέλο (~1953-1970)

Το νεοκλασικό μοντέλο περιγράφει το γονίδιο ως ένα τμήμα DNA με συγκεκριμένα όρια, θεώρηση που εδραιώθηκε με την πρόταση της δομής του DNA από τους Watson και Crick το 1953. Το πρόβλημα του γονότυπου και του φαινότυπου μπορούσε πλέον να διατυπωθεί με συγκεκριμένους όρους και από το 1953 και μετά έγινε κατανοητό ότι το DNA του γονότυπου δεν εισέρχεται το ίδιο στις αναπτυξιακές οδούς, αλλά απλώς χρησιμεύει ως ένα σύνολο οδηγιών.

Το γονίδιο είναι μονάδα λειτουργίας και δρα σε μοριακό επίπεδο, παράγοντας ένα πολυπεπτιδίο, άρα υπάρχει διάκριση μεταξύ γονότυπου και φαινότυπου με σαφείς βιοχημικές διαδικασίες να την περιγράφουν. Αυτές οι βιοχημικές διαδικασίες που περιγράφονται στο μοντέλο, θα μπορούσαν να υπονοούν ότι το γονίδιο είναι μέρος ενός αναπτυξιακού συστήματος, και έτσι να εννοούνται και περιβαλλοντικοί παράγοντες.

2.3.3.5 Το σύγχρονο μοντέλο (~1970-)

Το σύγχρονο μοντέλο περιγράφει όλες εκείνες τις ανακαλύψεις σχετικά με τη γονιδιακή λειτουργία, όπως η εναλλακτική ωρίμανση, οι σύνθετοι υποκινητές γονιδίων, τα επικαλυπτόμενα γονίδια κ.ά., φαινόμενα που άρχισαν να εντοπίζονται σε ανώτερους ευκαρυωτικούς οργανισμούς από τη δεκαετία του 1970 και μετά, με την ανάπτυξη της γενετικής τεχνολογίας και της μοριακής βιολογίας. Αυτό το μοντέλο βάζει οριστικά τέλος στην ιδέα του γονιδίου ως διακριτής υλικής μονάδας και επικεντρώνεται εξ ολοκλήρου στη λειτουργία του, που δεν είναι αποκλειστικά η παραγωγή ενός πολυπεπτιδίου. Στο σύγχρονο

μοντέλο το γονίδιο αντιμετωπίζεται ως διαδικασία: ένα δίκτυο που επηρεάζεται από άλλα γονίδια και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αναγνωρίζονται διάφορες κατηγορίες γονιδίων, όπως αυτά που παράγουν ένζυμα, αυτά που παράγουν δομικές (μη διαλυτές) πρωτεΐνες, ρυθμιστικά γονίδια και γονίδια που κωδικοποιούν RNA μόρια. Το γονίδιο υπάρχει μόνο όταν δρα, αλλά κρατά και την υλική υπόσταση του νεοκλασικού γονιδίου, αυτή του DNA, μόνο που τώρα αποτελείται από πολλά τμήματα τα οποία παίρνουν μέρος σε αναπτυξιακές διαδικασίες στο μοριακό επίπεδο.

Πίνακας 4. Σημαντικές πτυχές του τρόπου με τον οποίο έγινε αντιληπτό το γονίδιο και η λειτουργία του στα ιστορικά μοντέλα. Προσαρμοσμένο από Gericke και Hagberg (2007)

Μοντέλο	Μεντελικό	Κλασικό	Βιοχημικό-Κλασικό	Νεοκλασικό	Σύγχρονο
Το γονίδιο θεωρείται ως	υποθετικό κατασκεύασμα χωρίς υλική υπόσταση	συμπαγές σωματίδιο, συναφές με τα χρωμοσώματα	συμπαγές σωματίδιο	υλική μονάδα αποτελούμενη από DNA	ένα δίκτυο κατηγοριών γονιδίων που επηρεάζεται από άλλα γονίδια και περιβαλλοντικούς παράγοντες
Το γονίδιο καθορίζεται από	ένα χαρακτηριστικό	ένα χαρακτηριστικό	ένα χαρακτηριστικό	ένα τμήμα DNA (δομή=λειτουργία)	μια διαδικασία (το γονίδιο υπάρχει μόνο όταν δρα)
Η λειτουργία του γονιδίου καθορίζεται από το	φαινομενολογικό επίπεδο (γενότυπος=φαινότυπος) [αιτιακές ιδεαλιστικές σχέσεις]	φαινομενολογικό επίπεδο [αιτιακές μηχανιστικές σχέσεις]	φαινομενολογικό επίπεδο [μηχανιστικές και ιδεαλιστικές βιοχημικές αντιδράσεις]	μοριακό επίπεδο [μηχανιστικές, νατουραλιστικές βιοχημικές αντιδράσεις]	μοριακό επίπεδο [νατουραλιστικές βιοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε αναπτυξιακές διαδικασίες]
Το γονίδιο είναι μονάδα	μετάδοσης και λειτουργίας	μετάδοσης, λειτουργίας, μετάλλαξης, ανασυνδυασμού	μετάδοσης, λειτουργίας, μετάλλαξης, ανασυνδυασμού	λειτουργίας	λειτουργίας
Περιβαλλοντικά ή επιγενετικά στοιχεία	δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο	δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο	δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο	δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο (επειδή ωστόσο το μοντέλο περιγράφει βιοχημικές διαδικασίες μπορεί να υπονοείται ότι το γονίδιο είναι μέρος του αναπτυξιακού συστήματος)	δεν εμφανίζονται άμεσα ως οντότητες στο μοντέλο, αλλά υπονοούνται επειδή το γονίδιο υφίσταται μόνο στο πλαίσιο ενός αναπτυξιακού συστήματος που μετριάζει την έκφραση του γονιδίου

2.4 Η γενετική στην εκπαίδευση και την εκπαιδευτική έρευνα

Η διδασκαλία της γενετικής κατέχει σημαντική θέση στο αναλυτικό πρόγραμμα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης παγκοσμίως, καθώς είναι στρατηγικά η κατάλληλη εκπαιδευτική βαθμίδα για την προώθηση κριτικών και εμπειριστατωμένων απόψεων για τα γονίδια και τον ρόλο τους στα έμβια όντα, διαμορφώνοντας έτσι τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών περί αυτών των εννοιών (Santos et al., 2012). Δεδομένου όμως του μεγάλου όγκου και της πολυπλοκότητας της επιστημονικής γνώσης όσον αφορά στη γενετική, καθίσταται δύσκολος ο μετασχηματισμός της σε σχολική γνώση, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ποικιλότητα σε γενετικές έννοιες και όρους (Gericke & Wahlberg, 2013).

Στη διδακτική ενότητα της γενετικής αντικείμενο μελέτης αποτελούν όχι μόνο πρότυπα κληρονομικότητας, αλλά μηχανισμοί όπως για παράδειγμα πώς τα χαρακτηριστικά περνούν σε επόμενες γενιές, πώς εκφράζονται τα γονίδια σε κυτταρικό επίπεδο και σε επίπεδο οργανισμού και πώς η γενετική πληροφορία μεταφέρεται από κύτταρο σε κύτταρο. Συχνά τα αναλυτικά προγράμματα και τα διδακτικά εγχειρίδια περιλαμβάνουν πολύπλοκες διαδικασίες όπως η πρωτεϊνοσύνθεση και η γενετική μηχανική, χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν την πρότερη κατανόηση των προαναφερθέντων σημαντικών και βασικών ιδεών (Wood-Robinson et al., 2000). Με αυτόν τον τρόπο οι μαθήτριες/τές εκτίθενται ταυτόχρονα σε μια ποικιλία εννοιών και διαδικασιών που ανήκουν σε διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα του οργανισμού με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην προσπάθεια σύνδεσής τους και συνεπώς στην εκμάθηση του αντικειμένου (Marbach-Ad & Stavy, 2000). Τέτοιες εκτεταμένες αντιστοιχίες μεταξύ εννοιών πρέπει να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν οι μαθήτριες/τές ώστε να κατανοήσουν τα θέματα της γενετικής, αφού αποδεδειγμένα δεν τους παρέχει παρόμοια στήριξη η διδακτική διαδικασία (Lewis & Kattmann, 2004). Συγκεκριμένα, πολλές φορές στο αναλυτικό πρόγραμμα της διδασκαλίας της βιολογίας δεν παρουσιάζεται η σύνδεση των διαφορετικών οργανωτικών μικρο- ή μακρο-επιπέδων, όπως του μοριακού με το γενετικό ή το κυτταρικό (Aivelo & Uitto, 2015· Marbach-Ad & Stavy, 2000).

Για την αποφυγή παρανοήσεων και τη βαθύτερη κατανόηση εννοιών της γενετικής οι Venville και Treagust (1998) παραθέτουν πως είναι συνεχείς εξελικτικές διαδικασίες αφομοίωσης και εννοιολογικών συλλήψεων κατά τις οποίες προϋπάρχουσες αντιλήψεις συγχωνεύονται με νέες, παρά μια διαδικασία εννοιολογικής προσαρμογής με την αντικατάστασή τους με επιστημονικές εξηγήσεις. Οι δομές που προτείνεται να χρησιμοποιούνται κατά τη διδασκαλία των εννοιών στη γενετική είναι τα μοντέλα που έχουν αποδειχθεί θεμελιώδες στοιχείο στην προσπάθεια της βελτίωσης της κατανόησης των μαθητριών/τών (Gericke et al., 2013).

Ήδη από τη δεκαετία του 1970 υπήρξε ενδιαφέρον στην ερευνητική κοινότητα η ανίχνευση των ιδεών των μαθητριών/τών. Ανακάλυψαν ότι οι μαθήτριες/τές είχαν βαθιά ριζωμένες πεποιθήσεις που έρχονταν σε σύγκρουση με τις επιστημονικές έννοιες και θεωρίες (Vosniadou, 2020). Πιο συγκεκριμένα, η γενετική βρέθηκε από τη δεκαετία του 1980 πως αποτελεί ένα από τα πιο δύσκολα θέματα του μαθήματος της βιολογίας ως προς την κατανόηση των εννοιών της από τις/τους μαθήτριες/τές (Κιλίς, 2021), η ερευνητική δραστηριότητα στη διερεύνηση αντιλήψεων και των δυσκολιών αυτών είναι μεγάλη (Bahar, Johnstone, & Hansell, 1999· Banet & Ayuso, 2000· Chattopadhyay, 2005· Duncan & Reiser, 2007· Κιλίς & Sağlam, 2014· Lewis et al., 2000a· Marbach-Ad & Stavy, 2000· Rotbain et al., 2006· Stewart & Dale, 1989· Wood-Robinson et al., 2000). Παρά το μεγάλο όγκο των ερευνών, ωστόσο, οι αδυναμίες στην κατανόηση των γενετικών εννοιών παραμένουν και κατά τον Dorji και τους συνεργάτες του (2017) αυξάνεται ο αριθμός των μελετών που δείχνουν ότι οι μαθήτριες/τές λυκείου αποφοιτούν με εξαιρετικά αδύναμες και ανεπαρκείς γνώσεις στον τομέα της γενετικής. Για αυτό το λόγο, είναι καίριο να ερευνώνται οι τρεις πυλώνες της εκπαιδευτικής διαδικασίας, οι μαθήτριες/τές, οι εκπαιδευτικοί και τα διδακτικά εγχειρίδια, που αλληλεπιδρούν και επιδρούν στην οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης των εκπαιδευόμενων που είναι και το τελικό ζητούμενο.

Οι προϋπάρχουσες γνώσεις και αντιλήψεις με τις οποίες εισέρχονται στη διαδικασία εκμάθησης των φυσικών επιστημών οι μαθήτριες/τές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή. Οι άτυπες αυτές ιδέες δεν είναι απλώς προσωπικές απόψεις για τον κόσμο, αλλά αντανακλούν μια κοινή άποψη που αντιπροσωπεύεται από μια κοινή γλώσσα. Αυτή η κοινή άποψη αποτελεί έναν κοινωνικά κατασκευασμένο «κοινό λογικό» τρόπο περιγραφής και εξήγησης του κόσμου. Αυτές τις άτυπες ιδέες καλούνται οι μαθήτριες/τές να προσαρμόσουν σε γνώσεις και επιστημονικές αντιλήψεις, κάτι που ενέχει εισαγωγή στις ιδέες και τις πρακτικές της επιστημονικής κοινότητας και τη νοηματοδότηση αυτών των ιδεών και πρακτικών σε ατομικό επίπεδο, μέσω της/του εκπαιδευτικού που διαμεσολαβεί (Driver et al., 1994). Καθώς οι επιστημονικές λέξεις και τα σύμβολα υπόκεινται στις διαδικασίες της αλλαγής, της ανάπτυξης και της φθοράς, όπως και σε κάθε άλλο τομέα της γλώσσας, ο Sutton (1992) τονίζει πως οι μαθήτριες/τές θα πρέπει να συναντούν τακτικά επιστημονικές ιδέες οι οποίες παρουσιάζονται ως εκφράσεις σκέψης και όχι ως συγκεκριμένες πληροφορίες. Άλλωστε, κάποιοι ερευνητές (Carey, 1985· Chinn & Brewer, 1993· McCloskey, 1983· Vosniadou & Brewer, 1987 στο Driver et al. 1994) παραλληλίζουν την εκμάθηση των μαθητριών/τών στις φυσικές επιστήμες ως αντανάκλαση παρόμοιο μοτίβο αλλαγής που έχουν

συμβεί στην ίδια την επιστήμη, μέσω της προοδευτικής αναδιάρθρωσης των υποκειμένων θεωριών τους.

Όσον αφορά την κατανόηση εννοιών και διαδικασιών της γενετικής, η εξειδικευμένη επιστημονική γλώσσα και ορολογία που απαιτείται και η εννοιολογική ποικιλότητα που όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι χαρακτηριστικό των επιστημονικών εννοιών είναι από τις κύριες πηγές δυσκολιών για τις/τους μαθήτριες/τές. Παρατίθενται εν συντομία οι λόγοι των δυσκολιών όπως έχουν καταγραφεί στην έρευνα για τη διδακτική της γενετικής (Κιλις, 2021· Knippels et al., 2005):

1. η ορολογία του συγκεκριμένου τομέα
2. το μαθηματικό περιεχόμενο στη Μεντελική γενετική και στις κυτταρικές διεργασίες στη γενετική
3. οι αφηρημένες γενετικές έννοιες και η πολύπλοκη φύση της γενετικής
4. ένας άλλος λόγος για τον οποίο οι μαθήτριες/τές δυσκολεύονται να κατανοήσουν τη γενετική είναι ότι τα γενετικά γεγονότα είναι αόρατα και απρόσιτα. Οι περισσότερες από τις γενετικές έννοιες κατατάσσονται στις θεωρητικές έννοιες επειδή είναι υποθετικές και φανταστικές (Duncan & Reiser, 2007). Ως εκ τούτου, οι μαθήτριες/τές πρέπει να είναι σε θέση να σκέφτονται υποθετικά για να κατανοήσουν τις θεωρητικές γενετικές έννοιες.
5. Επιπλέον, η αναγκαιότητα της λογικής σκέψης που αποτελεί τον πυρήνα των δεξιοτήτων σκέψης υψηλού επιπέδου για την κατανόηση των γενετικών εννοιών, είναι ένας άλλος λόγος που εξηγεί τη δυσκολία κατανόησης της γενετικής (Banet & Ayuso, 2000).
6. Ένας άλλος λόγος για τον οποίο τα θέματα γενετικής είναι δύσκολα στην κατανόηση και στη διδασκαλία, είναι ότι τα θέματα αυτά περιλαμβάνουν έννοιες (όπως γονίδια, πρωτεΐνες, κύτταρα, ιστοί, όργανα) που ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα (μακρο-, μικρο- και μοριακό επίπεδο) ενός βιολογικού οργανισμού. Για να κατανοήσουν τις διαδικασίες που διέπουν τα γενετικά φαινόμενα, οι μαθήτριες/τές πρέπει να είναι σε θέση να ενσωματώσουν αυτά τα διαφορετικά επίπεδα στη συνολική εικόνα, ώστε να μπορούν να κατανοήσουν τη γενετική ως σύνολο (Bahar et al., 1999· Duncan & Reiser, 2007· Marbach-Ad & Stavy, 2000).
7. Οι δυσκολίες στην κατανόηση της γενετικής αυξάνονται ιδιαίτερα με τις έννοιες του μοριακού επιπέδου, επειδή οι εκπαιδευτικοί και τα βιβλία χρησιμοποιούν χημικούς τύπους και αφηρημένα και πολύπλοκα σχήματα για να καταδείξουν τη δομή των μορίων (Rotbain et al., 2005).

8. Επιπλέον, η ομοιότητα των γενετικών όρων τόσο στην ορθογραφία όσο και στην προφορά όπως το χρωμόσωμα (chromosome) και το ινίδιο χρωματίνης (chromatid) (Bahar et al., 1999) και οι συνώνυμες λέξεις στη γενετική ορολογία δυσχεραίνουν την κατανόηση της γενετικής από τις/τους μαθήτριες/τές κάνοντάς τους να συγχέουν τις έννοιες αυτές μεταξύ τους, όπως οι γαμέτες (gametes) και γεννητικό κύτταρο (sex cell) ή υβριδικός (γονότυπος) (haploid) και ετεροζυγώτης (heterozygote) (Pearson & Hughes, 1998).
9. Πολλές φορές έχει καταγραφεί ανισότητα στο επίπεδο δυσκολίας των γενετικών εννοιών με αυτό του γνωστικού επιπέδου των μαθητριών/τών (Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000), έλλειψη προ-απαιτούμενων γνώσεων (Venville et al., 2005) και ανακριβής ή ελλιπής κατανόηση από προηγούμενη διδασκαλία ή άτυπες πηγές, όπως τα μέσα ενημέρωσης και το οικογενειακό πλαίσιο (Donovan & Venville, 2014).

Σε πρόσφατη έρευνα των Angraini και συνεργατών (2023) σε προπτυχιακές/ούς φοιτήτριες/τές βιολογίας στην Ινδονησία, αυτές/οί θεωρούν τη γενετική ως ένα από τα πιο δύσκολα θέματα που διδάσκονται, ενώ η πλειοψηφία τους αποδίδει τη δυσκολία αυτή στην πολυπλοκότητα της αφηρημένης φύσης του εκπαιδευτικού υλικού, ιδίως α) στην έκφραση του γενετικού υλικού, β) στις αλλαγές του γενετικού υλικού και γ) στη γενετική μηχανική. Αυτό καταδεικνύει την αναγκαιότητα της έρευνας και της προσπάθειας για επικαιροποίηση των εκπαιδευτικών υλικών και των μεθόδων διδασκαλίας, σύμφωνα με αυτές τις κατευθυντήριες γραμμές.

Λαμβάνοντας όλες τις δυσκολίες της διδασκαλίας της γενετικής υπόψη, η επιλογή του περιεχομένου των μαθημάτων γενετικής αποτελεί πρόκληση για τις/τους εκπαιδευτικούς και αυτή η δύσκολη διαδικασία διαμορφώνει και την οπτική γωνία ενός εκπαιδευτικού (Stern & Kampourakis, 2017). Οι άξονες του προγράμματος σπουδών κατά τον Stewart και τους συνεργάτες του (2005) πρέπει να είναι τρία μοντέλα που σκιαγραφούν τη βασική κατανόηση της γενετικής: α) γενετικό μοντέλο - τα μοτίβα κληρονομικότητας (π.χ. Μεντελική κληρονομικότητα), β) το μειωτικό μοντέλο (π.χ. σύναψη χρωμοσωμάτων και ανεξάρτητη κατανομή) και γ) το μοριακό μοντέλο (π.χ. η σχέση γονοτύπου-φαινοτύπου). Αργότερα, η Duncan και συνεργάτες της (2009) πρόσθεσαν το περιβάλλον ως πλαίσιο και περιέγραψαν την πρόοδο της μάθησης γύρω από δύο μεγάλες ιδέες: (1) «Όλοι οι οργανισμοί διαθέτουν γενετικές πληροφορίες που είναι καθολικές και καθορίζουν τα μόρια που εκτελούν τις λειτουργίες της ζωής. Ενώ όλα τα κύτταρα έχουν τις ίδιες πληροφορίες, τα κύτταρα μπορούν να ρυθμίσουν

ποιες πληροφορίες χρησιμοποιούνται (εκφράζονται).» και (2) «Υπάρχουν πρότυπα μεταφοράς γονιδίων μεταξύ γενεών. Κυτταρικοί και μοριακοί μηχανισμοί καθοδηγούν αυτά τα μοτίβα και έχουν ως αποτέλεσμα τη γενετική ποικιλομορφία. Το περιβάλλον αλληλεπιδρά με τη γενετική μας σύνθεση οδηγώντας σε παραλλαγές». Επιπλέον, στη μελέτη Delphi για τον γενετικό γραμματισμό, οι Boerwinkel και οι συνεργάτες του (2017) πρόσθεσαν ως απαραίτητη για την επίτευξη του γενετικού γραμματισμού τη διαφορά μεταξύ σωματικής και γεννητικής γραμμής και πολυγονιδιακής κληρονομικότητας στα προηγούμενα βασικά περιεχόμενα και τόνισαν επίσης την κοινωνικοπολιτισμική και επιστημονική γνώση. Σε γενικές γραμμές, η διαφοροποίηση του βασικού περιεχομένου της εκπαίδευσης στη γενετική από τη Μεντελική γενετική στα πολυγονιδιακά χαρακτηριστικά φαίνεται να αντικατοπτρίζει την αλλαγή στην έμφαση της γονιδιακής έρευνας από την ποσοτική γενετική στη γονιδιωματική και την αλληλουχία ολόκληρου του γονιδιώματος. Ο συνδυασμός των γνώσεων όλων αυτών των ερευνών θα μπορούσε να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς να αποκτήσουν μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση στην επιλογή του περιεχομένου των μαθημάτων γενετικής (Aivelo & Uitto, 2019).

2.4.1 Αντιλήψεις μαθητριών/τών για την έννοια του γονιδίου και τη λειτουργία του

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχει μεγάλη ερευνητική δραστηριότητα στη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών σε θέματα γενετικής που συνήθως εστιάζουν στις δυσκολίες που συναντούν (Banet & Ayuso, 2000· Duncan & Reiser, 2007· Lewis & Kattmann, 2004· Venville et al., 2005), σε εναλλακτικές αντιλήψεις ή παρανοήσεις (Κιλίς, 2021· Κιλίς et al., 2016· Mills Shaw et al., 2008· Nelson-Ebimie et al., 2023· Treagust, 1988) και σε ζητήματα γενετικού ντετερμινισμού και ουσιοκρατίας (Donovan et al., 2020· Gericke, 2021· Jamieson & Radick, 2017· Stern et al., 2023) και πως η ενσωμάτωση σύγχρονων εννοιών γενετικής στη διδασκαλία μπορεί να τα αντιμετωπίσει (Haskel-Ittah, Duncan, Vázquez-Ben, et al., 2020· Haskel-Ittah & Duncan, 2021· Schmid et al., 2022). Παρακάτω παρατίθενται κάποιες έρευνες που διερεύνησαν την έννοια του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και προπτυχιακών φοιτητριών/τών σε διάφορα χρονικά διαστήματα και σε διαφορετικές χώρες, ώστε να γίνει μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας διεθνώς.

Πιο συγκεκριμένα, η Clough και ο Wood-Robinson (1985) μελετώντας τις ιδέες των παιδιών για την κληρονομικότητα στο Ηνωμένο Βασίλειο (H.B.), υπέδειξαν τη μεγαλύτερη ευχέρεια μιας γενετικής εξήγησης σε μεγαλύτερα παιδιά (16 ετών), αν και η κλασική θεώρηση της δομής και λειτουργίας του γονιδίου παρέμενε ως σωματίδιο και ο καθορισμός των

χαρακτηριστικών χωρίς τη διαμεσολάβηση πρωτεϊνών αντίστοιχα. Στα άρθρα των Lewis και των συνεργατών της (2000b, 2000c, 2000a) και της Lewis και Wood-Robinson (2000) και των συνεργατών τους για μαθήτριες/τές της δέκατης τάξης της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο Η.Β. παρουσιάζονται ορισμένες κοινές παρανοήσεις και εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητριών/τών που σχετίζονται με την ορολογία της γενετικής αλλά και τη βαθύτερη κατανόηση των εννοιών που εμπλέκονται σε αυτή. Οι μαθήτριες/τές αδυνατούν να κατανοήσουν την έννοια του γονιδίου, τη βασική του λειτουργία, την τοποθεσία του και τον συσχετισμό του με άλλες δομές. Η παρανόηση ως προς την έννοια του γονιδίου φαίνεται από την αδυναμία διαχωρισμού του γονιδίου από τα αλληλόμορφα γονίδια. Ακόμα, η σχέση γονιδίων και καθορισμού χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένης της συμπεριφοράς και προσωπικότητας, είχε ντετερμινιστικό χαρακτήρα. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και στην έρευνα των Wood-Robinson και των συνεργατών του (2000), όπου καταγράφηκαν δυσκολίες ως προς τη διάκριση μεταξύ γονιδίου και αλληλόμορφου, της ίδιας ποσότητας του γενετικού υλικού σε όλα τα κύτταρα ενός οργανισμού, αλλά ομοίως και της ντετερμινιστικής φύσης του καθορισμού των χαρακτηριστικών από τα γονίδια. Η σωματιδιακή θεώρηση του γονιδίου που περιέχει ένα χαρακτηριστικό, χωρίς σαφή διάκριση γονότυπου και φαινότυπου, βρέθηκε και σε μαθήτριες/τές του Η.Β. και της Γερμανίας, σε έρευνα των Lewis και Kattmann (2004). Επιπλέον, η Lewis (2014) συνέκρινε μαθήτριες/τές του 1995 και του 2011, που είχαν παρακολουθήσει διαφορετικά προγράμματα σπουδών, καθώς η γονιδιωματική είχε αντικαταστήσει τη γονιδιακή τεχνολογία ως ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας της επιστήμης με δυνατότητες αντίκτυπου στην καθημερινή ζωή. Παρά την καλύτερη κατανόηση βασικών εννοιών της γενετικής από τις/τους πιο πρόσφατες/τους μαθήτριες/τές, εντόπισε παρόμοιες εναλλακτικές ιδέες ή αδυναμίες στα επεξηγηματικά τους πλαίσια. Τέλος, στη διδακτορική της διατριβή η Mardiyyaningsih [2021] μελέτησε την εννοιολογική αλλαγή στις ιδέες προπτυχιακών φοιτητριών/τών σε Η.Β. και Ινδονησία συγκρίνοντάς τις με τα ιστορικά μοντέλα των Gericke και Hagberg (2007). Οι Βρετανίδες/οί μαθήτριες/τές περιέγραψαν αρχικά το γονίδιο ως ένα τμήμα DNA που κωδικοποιεί μία πρωτεΐνη, που το συνέδεσε η ερευνήτρια με το νεοκλασικό μοντέλο της γονιδιακής λειτουργίας, ενώ μόνο ένας μαθητής παρουσίασε το γονίδιο επιπλέον ως τόπο πάνω στο χρωμόσωμα, παρουσιάζοντας έτσι μια υβριδική αντίληψη του γονιδίου μεταξύ του νεοκλασικού και μοριακού μοντέλου.

Οι έρευνες των Lawson και Thompson (1988) και των Stewart και Dale (1989) στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής προϋπήρξαν της δημοσίευσης των πολλαπλών μοντέλων εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας και της έννοιας του γονιδίου Gericke και Hagberg (2007), αλλά ερεύνησαν τις δυνατότητες των μαθητριών/τών και τις εναλλακτικές αντιλήψεις

τους σε θέματα όπως η κατανόηση των μηχανισμών κληρονομικότητας. Υποστήριξαν πως οι μαθήτριες/τές δύνανται να κατέχουν ταυτόχρονα περισσότερες από μία αντιλήψεις και ότι το μπορούν να ανατρέχουν σε αυτές ανάλογα με το κατάλληλο πλαίσιο. Οι Duncan και Reiser (2007) αργότερα, ρωτώντας μαθήτριες/τές της δέκατης τάξης της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις Η.Π.Α. βρήκαν ότι τείνουν να περιγράφουν τα γονίδια ως σχέδια που περιέχουν πληροφορίες για ολόκληρα χαρακτηριστικά (όπως το χρώμα των ματιών), λειτουργίες οργάνων (όπως ο καρδιακός ρυθμός), καθώς και τη δομή και τη λειτουργία των κυττάρων και των πρωτεϊνών, ενώ μόνο το ένα τρίτο είχε μια αντίληψη των γονιδίων ως πληροφορία και καμιά/κανένας δεν είχε αντίληψη των γονιδίων ως οδηγίες για τις πρωτεΐνες, ακόμη και μετά από οδηγίες. Η ίδια ερευνήτρια πραγματοποίησε στην ίδια σχολική βαθμίδα δύο έρευνες (Duncan et al., 2011· Duncan & Tseng, 2011) όπου βρήκαν πως σχεδόν οι μισές/οί μαθήτριες/τές που ερωτήθηκαν στο πλαίσιο των ερευνών τους θεωρούσαν το γονίδιο ως παθητικό σωματίδιο που σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά, ενώ σχεδόν το ένα τέταρτο του συνόλου το περιέγραψε ως ένα πρόγραμμα/χάρτη/προσχέδιο των χαρακτηριστικών. Ως μια αλληλουχία οδηγιών για την κωδικοποίηση πρωτεϊνών χαρακτήρισαν το γονίδιο και προπτυχιακές/οί φοιτήτριες/τές στη μεταπτυχιακή έρευνα του LeVaughn [2016], οι οποίες/οι ωστόσο δεν συνέδεαν μέσω των πρωτεϊνών την εμφάνιση χαρακτηριστικών σε δεύτερη φάση. Η Todd και οι συνεργάτες της διαμόρφωσαν μια διδακτική μαθησιακή ακολουθία για τη βελτίωση κατανόησης εννοιών της σύγχρονης γενετικής από μαθήτριες/τές της δέκατης τάξης της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις Η.Π.Α. (Todd et al., 2017· Todd & Kenyon, 2016). Μετά την ολοκλήρωση αυτής της 23 εβδομάδων ακολουθίας, βρέθηκε καλύτερη κατανόηση των σύγχρονων εννοιών της γενετικής, συμπεριλαμβανομένης της σύνδεσης γονιδίων και χαρακτηριστικών μέσω πρωτεϊνών που ήταν ανύπαρκτη πριν, την επιρροή του περιβάλλοντος στα γονίδια και τη λειτουργία τους και της ευελιξίας/πλαστικότητας της γονιδιακής έκφρασης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός οργανισμού. Όταν εξετάστηκε το ίδιο σύνολο των μαθητριών/τών (Todd et al., 2022) σε απόσταση δύο ετών από τη διδακτική μαθησιακή ακολουθία ώστε να διαπιστωθεί αν διατηρούνται οι αντιλήψεις που «κερδήθηκαν» μέσω αυτής, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι αφού οι μαθήτριες/τές μετακινήθηκαν από μία φαινοτυπική σε μια πιο μοριακή μηχανιστική κατανόηση της γενετικής, μετά από δύο χρόνια οι ιδέες τους σταθεροποιήθηκαν με βάση τις μοριακές εξηγήσεις για την ποικιλομορφία της ζωής και τον τρόπο με τον οποίο η γενετική ποικιλομορφία οδηγεί στην εξέλιξη. Τέλος, έρευνα της Newman και των συνεργατών της (2021) σε προπτυχιακές/ούς φοιτήτριες/τές, επικράτησε η άποψη πως τα γονίδια είναι πάνω στα χρωμοσώματα ή ότι είναι τμήματα DNA, ενώ

συσχέτιζαν τη γονιδιακή λειτουργία με την εμφάνιση χαρακτηριστικών χωρίς την αναφορά των πρωτεϊνών.

Στην Αυστραλία οι Venville και Treagust (1998) βρήκαν πως οι μαθήτριες/τές δεν μπορούσαν να διαφοροποιήσουν τις έννοιες γονίδιο και χαρακτηριστικό και τις χρησιμοποιούσαν εναλλάξ. Είχαν μια σωματιδιακή θεώρηση του γονιδίου το οποίο παθητικά περνάει από γενιά σε γενιά και βρίσκεται μόνο στο μέρος του σώματος που ελέγχει και όχι αλλού στο σώμα. Αυτή η θεωρία συνάδει με αυτή των γενετιστών του 19ου αιώνα πριν την ανακάλυψη της δομής του DNA, που μοιάζει με το Μεντελικό μοντέλο των Gericke και Hagberg (2007), αλλά και με τα ευρήματα των Venville και των συνεργατών της (2005). Παρατήρησαν, ακόμα, πως μετά τη διδασκαλία του αντίστοιχου υλικού οι μαθήτριες/τές άρχισαν να αντιλαμβάνονται την ενεργή λειτουργία το γονιδίου συνδέοντάς τη με τη σύνθεση πρωτεϊνών. Όταν αργότερα οι Tsui και Treagust (2010) πραγματοποίησαν έρευνα ρωτώντας μαθήτριες/τές της ίδιας εκπαιδευτικής βαθμίδας (10^{ης}) και τελειόφοιτες/ους (12^η), παρατήρησαν πως οι μεγαλύτερες/οι σε ηλικία μαθήτριες/τές είχαν μια πιο εξελιγμένη αντίληψη του γονιδίου ως παραγωγικής ακολουθίας οδηγιών, και πως και στις δύο τάξεις οι περισσότερες/οι μαθήτριες/τές αντιλαμβάνονταν το γονίδιο ως πληροφορία. Σε μικρότερες ηλικίες (5^η-7^η εκπαιδευτική βαθμίδα/τάξη), οι Αυστραλές/οί μαθήτριες/τές συσχέτιζαν τη σχέση γονιδίων και χαρακτηριστικών, εξομοιώνοντας τη συμπεριφορά με το DNA και γενικότερα ταύτιζαν τα γονίδια με τα χαρακτηριστικά, παρουσιάζοντας ντετερμινιστικές αντιλήψεις (Donovan & Venville, 2012, 2014).

Ο νομοτελειακός χαρακτήρας της σχέσης γονιδίου-χαρακτηριστικού υπερίσχυε στις/στους μαθήτριες/τές στο Ισραήλ (Marbach-Ad, 2001· Marbach-Ad & Stavy, 2000), καθώς είχαν και τη Μεντελική θεώρηση του γονιδίου ως υπεύθυνου για τη μετάδοση πληροφοριών. Οι Haskel-Ittah και Yarden (2017) διαπίστωσαν την παράλειψη των πρωτεϊνών στις εξηγήσεις μαθητριών/τών της δέκατης τάξης στο Ισραήλ, περιγράφοντας την επιρροή των γονιδίων στα χαρακτηριστικά με μη μηχανιστικό τρόπο. Οι μαθήτριες/τές φαίνεται να γνώριζαν ότι τα γονίδια επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά και ότι οι πρωτεΐνες σχετίζονται με κάποιον τρόπο με αυτή την επίδραση, αλλά ο ακριβής διαμεσολαβητικός μηχανισμός που περιλαμβάνει τις πρωτεΐνες δεν ήταν σαφής. Όταν η ίδια ομάδα ερευνητριών (Haskel-Ittah et al., 2018) διερεύνησε τις ιδέες περί γονιδιακής λειτουργίας μαθητριών/τών της ένατης και δωδέκατης βαθμίδας της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, διαπίστωσε πως πριν διδαχθούν γενετική φέραν μη μηχανιστικές αντιλήψεις για τη σύνδεση γονιδίου – χαρακτηριστικού, που συνάδει με τα προηγούμενά τους ευρήματα. Ακόμα και στην αρχή της περιόδου διδασκαλίας της γενετικής το ένα τρίτο των μαθητριών/τών θεωρούσε τα γονίδια συνώνυμα των χαρακτηριστικών, μια

Μεντελική θεώρηση, ή ότι έχουν σωματιδιακή υπόσταση που φέρει τα χαρακτηριστικά, μια κλασική θεώρηση της γονιδιακής δομής και λειτουργίας.

Οι Gericke και Wahlberg (2013) αλλά και ξεχωριστά ο Gericke με τους συνεργάτες του (2013), μελέτησαν τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών στη Σουηδία και διαπίστωσαν την κατασκευή υβριδικών μοντέλων από τους μαθητριες/τές και συγκεκριμένα υβριδισμό μεταξύ Μεντελικού, κλασικού και βιοχημικού-κλασικού. Ενώ οι μαθητριες/τές ήταν σε θέση να εξηγήσουν και να σχηματίσουν σχέσεις μεταξύ του DNA και των γονιδίων, δεν μπορούσαν να συνδέσουν την έννοια του γονιδίου με τις πρωτεΐνες. Ακόμα, νωρίτερα Gericke και Hagberg (2007) σε βιβλιογραφική τους επισκόπηση βρήκαν πως η κατανόηση των μαθητριών/τών συσχετίζεται κυρίως με τα τρία πρώτα ιστορικά μοντέλα που ανέπτυξαν (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό), ως εκ τούτου, βασίζονται κυρίως στην κλασική γενετική και μοιάζουν πολύ με την επιστημονική άποψη του πρώτου μισού του εικοστού αιώνα.

Οι μαθητριες/τές στη Φινλανδία φαίνεται να διαφοροποιούνται ως προς τον βαθμό του ντετερμινισμού που παρουσιάζουν, παρά την ύπαρξή του στα διδακτικά εγχειρίδια (Aivelo & Uitto, 2015). Ήταν κατανοητό πως ο γονότυπος έχει ως αποτέλεσμα κάποιον φαινότυπο, τον οποίο μπορεί να «πειράξει» το περιβάλλον. Αρκετά χρόνια πριν, ο Halldén (1988) είχε καταγράψει πως η αντίληψη μαθητριών/τών στην προτελευταία τάξη της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη Σουηδία ήταν πως οι κληρονομικές διαθέσεις για ένα δεδομένο χαρακτηριστικό βρίσκονται στα γονίδια, τα οποία με τη σειρά τους βρίσκονται στα χρωμοσώματα, τα οποία αποτελούνται από μόρια DNA.

Στην Τουρκία η Saka και οι συνεργάτες της (2006) εντόπισαν την εναλλακτική ιδέα των μαθητριών/τών πως ένα γονίδιο είναι ταυτόσημο με ένα κληρονομικό χαρακτηριστικό, αντίληψη ωστόσο που συνάδει με το Μεντελικό μοντέλο θεώρησης του γονιδίου. Ακόμα, διαπίστωσαν πως όλες/οι οι μαθητριες/τές έδωσαν λειτουργικές εξηγήσεις για την έννοια του γονιδίου και όχι δομικές, θεωρούσαν δηλαδή ότι η δομή των γονιδίων είναι ανεξάρτητη από αυτή του DNA και με αυτή των. Αργότερα η Kiliç και οι συνεργάτες της (Kiliç et al., 2016· Kiliç & Sağlam, 2014) θα διερευνούσαν την κατανόηση μαθητριών/τών στην εντέκατη εκπαιδευτική βαθμίδα σε θέματα γενετικής. Τα ευρήματά τους έδειξαν πως υπάρχει θετική συμβολή στην κατανόηση από τις/τους μαθητριες/τές όταν έχουν συλλογιστική ικανότητα και όταν υιοθετούν την ουσιαστική μάθηση αντί της απομνημόνευσης ως μαθησιακή προσέγγιση.

Στην Ισπανία οι Banet και Ayuso (2000, 2003) παρατήρησαν πως οι μαθητριες/τές είχαν παρανοήσεις σχετικά με την τοποθεσία των κληρονομικών πληροφοριών στα κύτταρα ενός οργανισμού εντοπίζοντας αυτές μόνο τους γαμέτες. Επιπλέον, οι μαθητριες/τές χρησιμοποιούσαν ευρέως τις υφιστάμενες αντιλήψεις τους που είχαν διαμορφώσει με την

«κοινή λογική» από τις καθημερινές τους εμπειρίες και καθομιλουμένη γλώσσα, καθώς και από πρότερη διδασκαλία σε άλλα θέματα βιολογίας κυρίως σε επίπεδο πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Στην Ολλανδία η Koers [2016] μελετώντας πώς αποδίδουν οι μαθήτριες/τές στις τελευταίες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης την έννοια «κληρονομικό χαρακτηριστικό», διαπίστωσε πως οι μαθήτριες/τές θεωρούν κληρονομικά τα γνωρίσματα στα κατώτερα οργανωτικά επίπεδα, ενώ αυτά δεν προκαλούνται από μετάλλαξη ούτε επηρεάζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Στην Ινδία η Chattopadhyay (2005) βρήκε πως οι μαθήτριες/τές είχαν αρκετές παρανοήσεις σε σχέση με τις σχέσεις γονιδίων, χρωμοσωμάτων, γενετικής πληροφορίας και κυττάρου, όπως η λανθασμένη θεώρηση της τοποθεσίας του γενετικού υλικού στα χρωμοσώματα, που συνάδει με τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών στην Ισπανία.

Οι αντιλήψεις των μαθητριών/τών στο Μαρόκο που ερευνήθηκαν από τους Agorram και συνεργάτες (2010) ακολουθούν κατά το ήμισυ του δείγματος το νεοκλασικό μοντέλο της έννοιας του γονιδίου (όπου αναγνωρίζεται ως αλληλουχία DNA που κωδικοποιεί συγκεκριμένη πρωτεΐνη) και μια μερίδα χαρακτηρίζεται από το Μεντελικό μοντέλο (γονίδιο ως μονάδα καθορισμού χαρακτηριστικού). Για ακόμα μια φορά ανάμεσα στις/στους μαθήτριες/τές υπάρχει ντετερμινιστική ιδεολογία, αφού στις αντιλήψεις τους λείπει η αλληλεπίδραση γονιδίων και περιβάλλοντος.

Στο Μπουτάν ο Dorji και οι συνεργάτες του (Dorji, Tshering, Chettri, et al., 2017· Dorji, Tshering, & Dorji, 2017) πραγματοποίησαν δύο έρευνες για τη διερεύνηση αντιλήψεων μαθητριών/τών της δέκατης και εντέκατης τάξης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν την παράλειψη των πρωτεϊνών από την εξήγηση της γονιδιακής λειτουργίας και στις δύο ομάδες, με τις απαντήσεις τους να διέπονται από ντετερμινιστικό χαρακτήρα, με άμεση σύνδεση του πληροφοριακού περιεχομένου των γονιδίων με τα χαρακτηριστικά στο μακρο-επίπεδο.

Στη Σιγκαπούρη η Chin και η Teou (2010) ρώτησαν μαθήτριες/τές της πέμπτης τάξης για την κληρονομικότητα και διαπίστωσαν οι αντιλήψεις τους χαρακτηρίζονταν ως ανήκουσες στο Μεντελικό μοντέλο, καθώς το γονίδιο παρουσιαζόταν ως υποθετική κατασκευή που συνδέεται με ένα χαρακτηριστικό. Στη Βραζιλία ο El-Hani και οι συνεργάτες του (2014) βρήκαν πως προπτυχιακές/οί φοιτήτριες/τές όταν διδάσκονταν γενετική έτειναν προς μια μοριακή θεώρηση του γονιδίου, σε αντίθεση με την πληροφοριακή αντίληψη αυτών που δεν διδάσκονταν. Η Osman και οι συνεργάτες της (2017) στον Λίβανο ανίχνευσαν υψηλά επίπεδα παρανοήσεων σε αρκετές σημαντικές έννοιες της γενετικής σε μαθήτριες/τές από την έβδομη έως τη δωδέκατη τάξη, παρ' όλα αυτά η πλειοψηφία των ερωτηθεισών/έντων αναγνώρισε ότι

το περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει το περιβάλλον ενός γονιδίου, κάτι που σπάνια έχει ανιχνευθεί σε άλλες έρευνες. Στη Νιγηρία η Ahmed και οι συνεργάτες της (2018) εντόπισαν τη νεοκλασική έννοια του γονιδίου, όπου είναι ένα τμήμα DNA που κωδικοποιεί μία πρωτεΐνη ως τη πιο δημοφιλή ανάμεσα σε προπτυχιακές/ούς φοιτήτριες/τές, ενώ το Μεντελικό μοντέλο ακολουθούσε.

Έρευνες στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα είναι σχετικά λίγες οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών σε θέματα γενετικής· η μεταπτυχιακή διπλωματική της Κεμεντσιετζίδου [2009] που διερευνά γνώσεις, απόψεις και στάσεις των μαθητριών/τών σε θέματα γενετικής και βιοτεχνολογίας, το διδακτορικό του Γιασεμή [2011] στην ίδια θεματική, την έρευνα των Κουμπάρου, Κυριακούδη και Αθανασίου (2011) που χρησιμοποιεί το ερευνητικό εργαλείο των Lewis και Wood-Robinson (2000) για τη διερεύνηση των ιδεών μαθητριών/τών για τη γενετική και κληρονομικότητα και η διπλωματική εργασία του Φόλλα [2017] που ερευνά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε θέματα γενετικής.

Η Κεμεντσιετζίδου [2009] χρησιμοποίησε μέρος του ερωτηματολογίου της εργασίας της Lewis και των συνεργατών της (Lewis et al., 2000c, 2000a, 2000b· Lewis & Wood-Robinson, 2000) Για να καταγράψει και να αναλύσει τις γνώσεις και τις απόψεις των μαθητριών/τών Γ' γυμνασίου για βασικές έννοιες της γενετικής, της εξέλιξης και της βιοτεχνολογίας. Η ερευνήτρια αναφέρει πως η πλειοψηφία των μαθητριών/τών απάντησε σωστά ότι «το γονίδιο είναι τμήμα του DNA στο οποίο περιέχονται πληροφορίες για τη σύνθεση μορίων πρωτεϊνών ή μορίων RNA», ωστόσο καμία/κανένας μαθήτρια/τής δεν συνέδεσε τις πρωτεΐνες με τα χαρακτηριστικά παρά μόνο με τα γονίδια.

Ο Γιασεμής [2011] πραγματοποίησε έρευνα ευρείας κλίμακας με ερωτηματολόγιο σε μαθήτριες/τές Γ' Λυκείου, ερωτήματα που αφορούσαν τη γενετική ανάμεσα σε άλλα. Τα ευρήματά του συνάδουν και με αυτά της διεθνούς βιβλιογραφίας που παρατέθηκε παραπάνω, καθώς οι μαθήτριες/τές αδυνατούσαν να συνδέσουν στις εξηγήσεις τους τα γονίδια με τις πρωτεΐνες ή με κάποιο συγκεκριμένο προϊόν, παρά τη γνώση πως το γονίδιο περιέχει την πληροφορία για ένα χαρακτηριστικό. Ακόμα, διαπιστώθηκαν εναλλακτικές ιδέες ως προς στην κατανόηση ύπαρξης του ίδιου γενετικού υλικού σε όλα τα κύτταρα ενός οργανισμού ή ως προς τη διαφορική έκφραση των γονιδίων σε διάφορα είδη κυττάρων.

Οι Κουμπάρου και οι συνεργάτες της (2011) χρησιμοποίησαν και αυτοί μεταφρασμένο το ερωτηματολόγιο των Lewis και Wood-Robinson (2000) για να εξετάσουν το επίπεδο γνώσεων μαθητριών/τών Α' και Γ' Λυκείου, και τυχόν διαφορές που υπάρχουν στις γνώσεις και τις ιδέες μεταξύ τους. Όσον αφορά την κατανόηση της φύσης της γενετικής πληροφορίας, πολύ λίγες/οι μαθήτριες/τές φάνηκε να κατανοούν ότι ένα γονίδιο έχει υλική υπόσταση και συγκεκριμένη θέση σε κάποιο χρωμόσωμα. Επιπλέον, βρήκαν ότι οι μισές/οί μαθήτριες/τές της Α' Λυκείου και δύο στις/στους τρεις μαθήτριες/τές της Γ' Λυκείου τοποθετούν τα γονίδια στο γενετικό υλικό/DNA. Ακόμα, η σχέση γενετικής πληροφορίας με τα χαρακτηριστικά δεν προσδιοριζόταν με ακρίβεια από το σύνολο σχεδόν των μαθητριών/τών, με μόνο το 2,9% των μαθητριών/τών και των δύο τάξεων να συσχετίζει την παραγωγή των πρωτεϊνών με τα γονίδια. Τέλος, οι περισσότερες/οι μαθήτριες/τές που απάντησαν (περίπου 40% και για τις δυο τάξεις) τόσο της Α' όσο και της Γ' Λυκείου δήλωσαν ότι τα γονίδια καθορίζουν τα φυσικά και πνευματικά χαρακτηριστικά του ατόμου.

Ο Φόλλας [2017] διενέργησε έρευνα με μεταφρασμένο στα ελληνικά ερωτηματολόγιο των Kiliç και των συνεργατών της (2016) για την ανίχνευση εναλλακτικών ιδεών Βρετανών και Τούρκων μαθητών στις έννοιες της γενετικής. Το ερωτηματολόγιο διανεμήθηκε σε μαθήτριες/τές Γ' Γυμνασίου και σε μαθήτριες/τές από όλες τις τάξεις του Λυκείου. Ο ερευνητής διαπίστωσε ότι οι Ελληνίδες/ες μαθήτριες/τές παρουσίαζαν τι χαμηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τις/τους συνομήλικές/ίκους τους που μελετηθήκαν στις υπόλοιπες χώρες (Η.Β. και Τουρκία). Βρέθηκε πως οι εναλλακτικές αντιλήψεις των Ελληνίδων/ων μαθητριών/τών για τα φαινόμενα της Γενετικής εμφανίζονται σε πολύ μεγάλη συχνότητα, η ηλικία επηρεάζει σημαντικά την επίδοση την οποία είχαν και αυτό μπορεί να οφείλεται στον προσανατολισμό των σπουδών που έχουν επιλέξει και στον οποίο η Βιολογία παίζει το σημαντικότερο ρόλο για την εισαγωγή τους στο Πανεπιστήμιο και η θετική άποψη που έχουν οι μαθήτριες/τές απέναντι στο διδακτικό αντικείμενο οδηγεί σε υψηλότερη βαθμολογία και μικρότερη συχνότητα εμφάνισης εναλλακτικών αντιλήψεων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μια σύγχυση ανάμεσα στο γονίδιο, το χρωμόσωμα και το DNA καθώς δεν μπορούν να ξεχωρίσουν ποιο είναι μεγαλύτερο, ποιο περιέχεται σε ποιο και από ποια ουσία αποτελείται το καθένα.

Όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, τόσο διεθνώς όσο και στην Ελλάδα, οι αντιλήψεις των μαθητριών/τών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση συγκλίνουν και παρουσιάζουν παρόμοιες εναλλακτικές ιδέες. Οι βασικές έννοιες που δείχνουν να δυσκολεύουν μαθήτριες και μαθητές είναι η σύνδεση γονιδίων με χαρακτηριστικά/φαινότυπου μέσω των πρωτεϊνών, που συνδέεται και με την αδυναμία να σύνδεσης διαφορετικών επιπέδων τα οποία σχετίζονται με τη γονιδιακή λειτουργία. Η κατανόηση των συνδέσεων μεταξύ

γονιδίων, πρωτεϊνών και χαρακτηριστικών προϋποθέτει συλλογιστική ικανότητα σε πολλαπλά επίπεδα οργάνωσης (π.χ. μοριακό, κυτταρικό και επίπεδο οργανισμού), προσπάθεια που αποτελεί εννοιολογική πρόκληση, καθώς οι μαθήτριες/τές πρέπει να κατανοήσουν το ρόλο που παίζει το κάθε επίπεδο οργάνωσης στα φαινόμενα κληρονομικότητας και πώς οι βιολογικοί μηχανισμοί σε κάθε επίπεδο σχετίζονται μεταξύ τους (Marbach-Ad & Stavy, 2000). Οι Duncan και Tseng (2011) υποστηρίζουν ότι η κατανόηση της σχέσης μεταξύ γονιδίων και χαρακτηριστικών μπορεί να βοηθήσει τις/τους μαθήτριες/τές να αναπτύξουν ένα πλαίσιο συλλογισμού για πολύπλοκα συστήματα (όπως η αλληλεπίδραση μεταξύ κλασικής και μοριακής γενετικής), το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω όταν οι μαθήτριες/τές κατανοήσουν πώς τα φυσικά και κυτταρικά φαινόμενα προκύπτουν από τη λειτουργία των πρωτεϊνών. Επομένως, η βοήθεια προς τις/τους μαθήτριες/τές για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ γονιδίων και πρωτεϊνών μπορεί να βοηθήσει στη διαλεύκανση της σχέσης μεταξύ των δύο μοντέλων (Castro-Faix & Duncan, 2022)

2.4.1.1 Εναλλακτικές ιδέες

Οι εναλλακτικές αντιλήψεις σύμφωνα με τη Χαλκιά (2011) «είναι γνωσιακές κατασκευές που δομούνται στο μυαλό των μαθητριών/τών καθώς αυτοί αλληλεπιδρώντας με τον φυσικό κόσμο, προσπαθούν να ερμηνεύσουν τα φυσικά φαινόμενα». Είναι κατασκευασμένες ιδέες που παρέχουν στις/στους μαθήτριες/τές μια μορφή εξήγησης των φυσικών φαινομένων με βάση τις εμπειρίες τους, την επιρροή τους από το κοινωνικό τους περιβάλλον (γονείς, συγγενείς, φίλους, εκπαιδευτικούς, κ.ά.), από τις προηγούμενες γνώσεις τους, κλπ. Αυτή η προϋπάρχουσα γνώση των μαθητριών/τών, που είναι συχνά ασύμβατη με τις αντίστοιχες επιστημονικές έννοιες και που παρουσιάζει ομοιότητες ακόμα και σε μαθήτριες/τές από διαφορετικές κουλτούρες, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον τρόπο και το περιεχόμενο της μάθησης των παιδιών (Χαλκιά, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, οι Lewis & Kattmann (2004) και Venville et al. (2005) δείχνουν ότι οι μαθήτριες/τές φέρουν εναλλακτικές αντιλήψεις σε θέματα γενετικής πριν τα διδαχθούν στο σχολικό πλαίσιο, που έχουν διαμορφώσει έχοντας ως σημεία αναφοράς τις εμπειρίες τους. Καθώς οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητριών/τών καθοδηγούν τον τρόπο με τον οποίο κατανοούν τη νέα γνώση είναι απαραίτητο στη διδασκαλία οποιουδήποτε θέματος των φυσικών επιστημών, συμπεριλαμβανομένης της γενετικής, να λαμβάνονται υπόψιν. Παρά τις εκτεταμένες εκπαιδευτικές έρευνες που γίνονται γύρω από τις εναλλακτικές αντιλήψεις των εκπαιδευόμενων τις τελευταίες δεκαετίες (Gericke and Wahlberg, 2013; Lewis and Kattmann,

2004), οι εκπαιδευτικοί δε γνωρίζουν τις προηγούμενες γνώσεις των μαθητριών/τών τους όταν οργανώνουν το διδακτικό σχεδιασμό, με αποτέλεσμα συχνά να διατηρούν οι μαθήτριες/τές τις εναλλακτικές ιδέες χωρίς συνοχή και αποσπασματικές χωρίς να συνιστούν από μόνες τους ένα ερμηνευτικό (επεξηγηματικό) σύστημα (Χαλκιά, 2011).

Η εξακρίβωση της προηγούμενης γνώσης των μαθητριών/τών και η ανάδειξη των εναλλακτικών αντιλήψεών τους για τις έννοιες ή τα φαινόμενα του φυσικού και κατασκευασμένου (τεχνολογικού) κόσμου που πρόκειται να διδαχθούν αποτελούν σημεία εκκίνησης για το μοντέλο διδασκαλίας που βασίζεται στη θεώρηση του κονστρουκτιβισμού (Χαλκιά, 2011). Ο κονστρουκτιβισμός έχει ως βασική επιστημολογική θέση ότι τα άτομα κατασκευάζουν τη δική τους γνώση, καθώς αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους, και επικεντρώνεται στο γνωσιακό επίπεδο. Μία βασική θεωρητική προσέγγιση αυτού του μοντέλου αποτελεί η εννοιολογική αλλαγή, που ορίζεται ως οποιαδήποτε αλλαγή στο εννοιολογικό δυναμικό των παιδιών ή πιο συγκεκριμένα ως αλλαγές που είναι αποτέλεσμα αντικατάστασης προ-διδασκαλίας αντιλήψεων για κάποιες έννοιες φυσικών επιστημών με τις αντίστοιχες επιστημονικές έννοιες (Χαλκιά, 2011). Η εννοιολογική αλλαγή εστιάζει στο πώς ένα άτομο μπορεί να επιτύχει την κατάκτηση εννοιών των φυσικών επιστημών, αφού πρώτα αποδομήσει τις εναλλακτικές του αντιλήψεις. Οι τελευταίες είναι ενσωματωμένες σε εννοιολογικές δομές που παρέχουν μία λογική και συνεπή κατανόηση του κόσμου των μαθητριών/τών από τη μεριά των παιδιών, και πολλές φορές είναι δύσκολο να αντικατασταθούν με νέες ιδέες καθώς προϋποθέτουν ριζική αλλαγή του εννοιολογικού πλαισίου (γνωσιακή σύγκρουση). Η εννοιολογική αλλαγή μπορεί να επιτευχθεί και ως αποτέλεσμα μιας βαθμιαίας διαδικασίας όπου συμβαίνει ταυτόχρονα εμπλουτισμός και αναδόμηση των αρχικών εννοιολογικών δομών των μαθητριών/τών προς ερμηνείες πιο συμβατές με την επιστημονική γνώση (Χαλκιά, 2011).

Σύμφωνα με τη Χαλκιά (2011) έρευνες δείχνουν ότι οι εκπαιδευτικοί δεν εφαρμόζουν διδακτικές πρακτικές που βασίζονται στην εννοιολογική αλλαγή παρά την ύπαρξη παραδειγμάτων εκπαιδευτικών που ανέδειξαν τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητριών/τών και πέτυχαν βελτίωση της μάθησης τους, αλλά και τη συμμετοχή των μαθητριών/τών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Συνεπώς, είναι καλό να σχεδιάζεται εξαρχής μια σειρά διδασκαλιών για μια θεματική ενότητα οι οποίες να έχουν ως στόχο τη συνολική τροποποίηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητριών/τών για τις έννοιες και τα φαινόμενα αυτής της ενότητας. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν αναπτυχθεί εξελιγμένες πρακτικές στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών για την επίτευξη μιας πιο αποτελεσματικής διδασκαλίας.

Εναλλακτικές αντιλήψεις για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία

Πολλές είναι οι έρευνες που επικεντρώνονται στην ανίχνευση των εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητριών/τών για έννοιες γενετικής και συγκεκριμένα για τη δομή και λειτουργία των γονιδίων. Από το 1994 που η Pashley (1994) διέκρινε τρεις τύπους (τα γονίδια περιέχουν τα αλληλόμορφα, τα αλληλόμορφα περιέχουν γονίδια και τα γονίδια είναι ίδια με τα αλληλόμορφα) έως και την τελευταία εικοσαετία (Boerwinkel et al., 2017· Dikmenli et al., 2011· Mills Shaw et al., 2008· Stern et al., 2021· Stern & Kampourakis, 2017· Φόλλας, 2017), η καταγραφή των εναλλακτικών αντιλήψεων έχει εμπλουτιστεί και αποτελεί ένδειξη της γνωσιακής κατάστασης των μαθητριών/τών, αλλά και της αποτελεσματικότητας της διδασκαλίας της γενετικής. Οι αντιλήψεις αυτές συνήθως έχουν ως εκκίνηση δυσκολίες που συναντούν οι μαθήτριες/τές και τις/τους προκαλούν σύγχυση σε βασικούς όρους, όπως το γονίδιο, το χρωμόσωμα, τα αλληλόμορφα, η μείωση και η μίτωση, καθώς και παρανοήσεις σχετικά με τη γονιδιακή έκφραση – πώς το DNA επηρεάζει τις λειτουργίες του κυττάρου (Aldahmash et al., 2012· Saka et al., 2006).

Παρά την εκτεταμένη ερευνητική δραστηριότητα ωστόσο, η Machonά και ο Ehler (2021) τονίζουν πως σύμφωνα και με πρόσφατες έρευνες η κατάσταση δεν έχει αλλάξει και προτείνουν ως πιθανή αιτία το ότι οι μελέτες συχνά επικεντρώνονταν περισσότερο στις αδυναμίες κατανόησης των γενετικών εννοιών παρά στη διερεύνηση της προέλευσής τους. Οι ίδιοι, όπως και άλλοι ερευνητές/τριες, εντοπίζουν την επιρροή στις/στους μαθήτριες/τές από τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών (Knippels et al., 2005· Osman et al., 2017), τα διδακτικά εγχειρίδια, τις μεθόδους διδασκαλίας και τις/τους εκπαιδευτικούς (Gericke et al., 2014· Gericke & Hagberg, 2010a, 2010b· Saka et al., 2006· Stern et al., 2023) ή ακόμα και από τα μέσα (Donovan & Venville, 2012). Άλλες μελέτες, σύμφωνα με τη Machonά και τον Ehler (2021), έχουν δείξει ότι στην κοινή εκπαιδευτική πρακτική, υπάρχει δυσκολία στην προώθηση των δεξιοτήτων συστημικής σκέψης και αποτελεσματικής πλοήγησης μεταξύ των επιπέδων της βιολογικής οργάνωσης (Knippels et al., 2005· Marbach-Ad & Stavvy, 2000), με αποτέλεσμα οι γνώσεις των μαθητριών/τών να είναι αποσπασματικές (Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000).

Οι Stern και Kampourakis (Stern et al., 2023· Stern & Kampourakis, 2017) διαχωρίζουν τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητριών/τών στη γενετική με βάση τη βιβλιογραφία σε τρεις κατηγορίες σχετικά με:

1. τη φύση του γενετικού υλικού
 - α. Τα γονίδια και το DNA είναι διαφορετικά
 - β. Τα γονίδια είναι μεγαλύτερα από τα χρωμοσώματα

- γ. Το DNA είναι φτιαγμένα από πρωτεΐνες
 - δ. Άγνοια ότι τα γονίδια και τα χρωμοσώματα σχετίζονται
 - ε. Άγνοια ότι οι περισσότεροι κυτταρικοί τύποι περιέχουν γονίδια
 - στ. Άγνοια ότι το DNA κωδικοποιεί πληροφορία για πρωτεΐνες
 - ζ. Το DNA είναι ζωντανό
2. το ρόλο του γενετικού υλικού
- α. Τα γονίδια καθορίζουν χαρακτηριστικά
 - β. Τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες για υψηλότερα επίπεδα οργάνωσης
 - γ. Τα γονίδια καθορίζουν δεξιότητες/ικανότητες
 - δ. Υπάρχουν ομάδες γενετικά ανώτερες από άλλες
 - ε. Η φυλή έχει επιπτώσεις στις γενετικές ασθένειες
 - στ. Άγνοια του ρόλου των πρωτεϊνών στα χαρακτηριστικά και στις ασθένειες
3. τη φύση και τις δυνατότητες των γενετικών τεχνολογιών, οι οποίες συχνά υπερεκτιμώνται από τις/τους μαθήτριες/τές
- α. Επιλογή χαρακτηριστικών στα έμβρυα
 - β. Τα γονίδια μπορούν να μεταφερθούν μεταξύ οργανισμών και να παράγουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά
 - γ. Η γενετική μηχανική μπορεί να θεραπεύσει ασθένειες με την αντικατάσταση γονιδίων
 - δ. Η κλωνοποίηση μπορεί να αναστήσει δικτάτορες ή να παράγει ανθρώπους με πανομοιότυπα συμπεριφορικά και ψυχολογικά χαρακτηριστικά

Στις έρευνες που έχουν διενεργηθεί σε μαθήτριες/τές στην Ελλάδα, η Κεμεντσιεζίδου [2009] παραθέτει κάποιες εναλλακτικές αντιλήψεις που συνάδουν με τη διεθνή βιβλιογραφία πως το DNA είναι υπεύθυνο για τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας μόνο των ζωικών οργανισμών και ότι το DNA είναι τμήμα του γονιδίου. Στην εργασία των Κουμπάρου κ.ά. (2011) προέκυψαν οι εναλλακτικές ιδέες των Ελληνίδων/ων μαθητριών/τών να είναι παρόμοιες με αυτές των Βρετανίδων/ών (Lewis & Wood-Robinson, 2000), με κυριότερες τις εξής:

1. Τα γονίδια είναι μεγαλύτερα από τα χρωμοσώματα.
2. Τα χρωμοσώματα μοιράζονται εξίσου σε κάθε κυτταρική διαίρεση, χωρίς να έχει προηγηθεί διπλασιασμός του γενετικού υλικού.
3. Ο ρόλος των χρωμοσωμάτων είναι ο καθορισμός του φύλου του ανθρώπου.

4. Η συνεισφορά των δύο φύλων στη χρωμοσωμική σύσταση του νέου οργανισμού είναι άνιση, με το σπερματοκύτταρο να συνεισφέρει περισσότερα χρωμοσώματα από το ωοκύτταρο.
5. Η σεξουαλική αναπαραγωγή (αμφιγονία) υπάρχει επειδή προσφέρει ευχαρίστηση στα δύο φύλα ή επειδή απλά υπάρχουν τα δύο φύλα.
6. Τα κύτταρα περιέχουν μόνο τη γενετική πληροφορία που χρειάζονται για να επιτελέσουν τη λειτουργία τους.

Ο Γιασεμής [2011] παρατήρησε μεγάλη συχνότητα εμφάνισης εναλλακτικών αντιλήψεων, ενώ ο Φόλλας [2017] συγκρίνει και βρίσκει ομοιότητες με αυτές σε ανάλογες έρευνες σε άλλες χώρες (Chattopadhyay, 2005· Franke et al., 2013· Kılıç et al., 2016· Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000) και οι πιο χαρακτηριστικές παρατίθενται παρακάτω:

1. Τα φυλετικά χρωμοσώματα είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά της γενετικής πληροφορίας στους νέους απογόνους και σε αυτά αποκλειστικά περιέχονται τα γονίδια που καθορίζουν τις ιδιότητες του νέου οργανισμού.
2. Όλοι οι γαμέτες ενός ατόμου είναι ολόιδιοι και περιέχουν τις ίδιες ακριβώς γενετικές πληροφορίες.
3. Κάθε σωματικό κύτταρο περιέχει διαφορετικά γονίδια, τα οποία είναι διαφορετικά σε διαφορετικά είδη κυττάρων του ίδιου οργανισμού και ανάλογα με τον ιστό εκφράζονται τα συγκεκριμένα γονίδια.
4. Τα χρωμοσώματα που καθορίζουν το φύλο υπάρχουν μόνο στα γαμετικά (φυλετικά κύτταρα).
5. Τα κληρονομικά χαρακτηριστικά μεταφέρονται αποκλειστικά από τα φυλετικά χρωμοσώματα.
6. Διαφορετικά όργανα έχουν τα δικά τους μοναδικά γονίδια και χρωμοσώματα.
7. Το φύλο ενός ατόμου καθορίζεται από τα γενετικά του όργανα και όχι από τα χρωμοσώματα που αυτό διαθέτει.
8. Τα χρωμοσώματα βρίσκονται στο DNA.
9. Το DNA αποτελείται από χρωμοσώματα.
10. Τα χρωμοσώματα αποτελούν το DNA.
11. Τα γονίδια αποτελούνται από χρωμοσώματα καθώς είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος από αυτά και DNA.

12. Με τη μίτωση ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στην επόμενη γενιά κυττάρων παραμένει σταθερός και δε διπλασιάζεται.
13. Με τη μείωση δημιουργείται το ζυγωτό και δημιουργούνται κύτταρα με διπλάσιο αριθμό χρωμοσωμάτων.
14. Οι γαμέτες έχουν διπλάσιο αριθμό χρωμοσωμάτων σε σχέση με τα σωματικά κύτταρα ενώ δημιουργούνται με τη μείωση και πολλαπλασιάζονται με τη μίτωση.

2.4.2 Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για την έννοια του γονιδίου και τη λειτουργία του

Η εικόνα της διεθνούς βιβλιογραφίας είναι διαφορετική για τη διερεύνηση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών από ό,τι για τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, με πολύ λιγότερες καταγραφές (Tsorogliou-Gkina & Papadopoulou, 2019), ενώ κάποιες από τις έρευνες μελετούν τις αντιλήψεις μελλοντικών εκπαιδευτικών κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής τους (Forissier & Clément, 2003· Gericke & Hagberg, 2007· Kampourakis et al., 2016· Marbach-Ad, 2001· Newman et al., 2021). Παρακάτω παρατίθενται κάποιες από αυτές.

Η Marbach-Ad (2001) διενήργησε έρευνα στο Ισραήλ σε υπό εκπαίδευση εκπαιδευτικούς κατά τη διάρκεια των πανεπιστημιακών τους σπουδών. Η κυρίαρχη αντίληψη για τη δομή του γονιδίου ήταν η σωματιδιακή άποψη, ενώ περιέγραφαν ένα γονίδιο ως έναν κώδικα ή ένα πρότυπο για χαρακτηριστικά ή πρωτεΐνες. Χρησιμοποιούσαν, δηλαδή, μία υβριδική θεώρηση του γονιδίου, αυτή της κλασικής γενετικής (γονίδιο-σωματίδιο και γονίδιο πρότυπο για χαρακτηριστικά), της νεοκλασικής (γονίδιο ως κώδικας), αλλά και της βιοχημικής-κλασικής όπου οι πρωτεΐνες είναι οι διαμεσολαβητές μεταξύ γονιδίων και χαρακτηριστικών. Στη Γαλλία οι Forissier και Clément (2003) εντόπισαν την έντονη χρήση της αιτιώδους σχέσης μεταξύ γονότυπου και φαινότυπου στις/στους εκπαιδευόμενες/ους εκπαιδευτικούς, που συνδέεται και με την ευρεία χρήση της στα διδακτικά εγχειρίδια. Συχνά στη διδασκαλία της «βιολογικής ταυτότητας» του ανθρώπου, που περιοριζόταν πολύ συχνά στο γενετικό πρόγραμμα στα γαλλικά σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης πριν το 2001, οι εκπαιδευόμενοι εκπαιδευτικοί, ενώ αναγνώριζαν την επίδραση του περιβάλλοντος στον φαινότυπο, προτιμούσαν τη στόχευση στο βιο-ντετερμινισμό και στην υπέρσχυση της γενετικής σε αυτή (τη βιολογική ταυτότητα). Οι Gericke και Hagberg (2007), σε μία βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποίησαν για τις αντιλήψεις των εκπαιδευόμενων καθηγητριών/τών βιολογίας, καθώς και των εν ενεργεία εκπαιδευτικών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, εντόπισαν ότι η κατανόησή τους συσχετίζεται κυρίως με τα τρία πρώτα ιστορικά

μοντέλα (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό) που ανέπτυξαν, ως εκ τούτου, βασίζονται κυρίως στην κλασική γενετική και μοιάζουν πολύ με την επιστημονική άποψη του πρώτου μισού του εικοστού αιώνα. Στην Τουρκία ο Dikmenli και οι συνεργάτες του (2010) ανίχνευσαν το Μεντελικό και κλασικό μοντέλο των γονιδίων (Gericke & Hagberg 2007) στις αντιλήψεις εκπαιδευόμενων δασκάλων της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Ακόμα, παρέθεσαν κάποιες εναλλακτικές αντιλήψεις των συμμετεχουσών/όντων που είναι οι εξής: α) «Τα κληρονομούμενα υλικά των ζωντανών πλασμάτων ονομάζονται γονίδια», β) «Τα χρωμοσώματα σχηματίζονται με την ένωση των γονιδίων», γ) «Τα γονίδια σχηματίζονται με την ένωση των DNA» και δ) «Το γονίδιο είναι η μικρότερη κωδικοποιημένη πρωτεΐνη μέσα στο σώμα». Οι εναλλακτικές αντιλήψεις αυτές συναντώνται και σε πρότερες έρευνες (Boujema et al., 2010· Marbach-Ad, 2001· Saka et al., 2006). Κάτι άλλο που επισημαίνουν οι ερευνητές είναι πως αποκαλύπτεται έτσι ότι ακολουθούν μία παράλληλη πορεία με τις εξηγήσεις που πρότειναν οι επιστήμονες και οι φιλόσοφοι της προηγούμενης γενιάς για τα φυσικά φαινόμενα (Bahar, 2003). Ο Kampourakis και οι συνεργάτες του (2016) διενήργησαν έρευνα στην Ελβετία, με τη συμμετοχή εκπαιδευόμενων εκπαιδευτικών που κατείχαν τουλάχιστον μεταπτυχιακό δίπλωμα τη βιολογία. Τα ευρήματά τους ήταν πως οι συμμετέχουσες/οντες είχαν την αντίληψη ότι μεμονωμένα γονίδια προκαλούν τα χαρακτηριστικά και τα γονίδια και οι αλληλουχίες DNA καθορίζουν άμεσα τα χαρακτηριστικά με πολλές από τις εξηγήσεις τους να βασίζονται στην απλή Μεντελική γενετική. Τέλος, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Newman και οι συνεργάτες της (2021) ζητώντας από εκπαιδευόμενες/ους εκπαιδευτικούς να σχεδιάσουν τη δομή των γονιδίων, εστίαζαν σε ολόκληρα χρωμοσώματα αντί στη δομή των γονιδίων και συνέδεαν τη γονιδιακή έκφραση με τα απλά φαινοτυπικά αποτελέσματα και τα τετράγωνα Punnett της Μεντελικής γενετικής.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο (H.B.) δύο έρευνες επικεντρώθηκαν σε δασκάλες/ους της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με απόσταση οκτώ ετών. Η έρευνα των Martins και Ogborn (1997) έδειξε πως οι δασκάλες/οι χρησιμοποιούσαν δύο διαφορετικά μοντέλα μεταφορικά για τα γονίδια στη διδασκαλία τους. Το πρώτο βασικό μοντέλο, ότι τα γονίδια είναι οντότητες με ενέργειες που τους έρχονται φυσικά, και το συμπληρωματικό ότι τα γονίδια είναι αλληλουχίες οδηγιών, όχι αντικείμενα, για τη μετάδοση εντολών, με το πρώτο να χρησιμοποιείται συχνότερα. Ακόμα, η σύνδεση των γονιδίων με συγκεκριμένα διακριτά χαρακτηριστικά ενός οργανισμού ήταν συχνή (όπως το χρώμα των ματιών), θεωρώντας ένα γονίδιο ως (μεταφορικά) ένα διακριτό αντικείμενο, όπως ένα σωματίδιο. Οι ερευνητές υποστηρίζουν τη δημιουργικότητα και τη χρήση μεταφορών στη διδασκαλία των επιστημών καθώς όπως και η

επιστημονική σκέψη, κατά αυτούς, η σκέψη των δασκάλων για τον κόσμο έχει αναπόφευκτα μεταφορική βάση. Η Walker και ο Plomin (2005) εξέτασαν τις αντιλήψεις δασκάλων και γονέων σχετικά με τις αντιλήψεις τους για τη γενετική και την περιβαλλοντική επιρροή στην προσωπικότητα, τη νοημοσύνη, τα προβλήματα συμπεριφοράς, τις μαθησιακές δυσκολίες και τις ψυχικές ασθένειες. Τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν πως οι δασκάλους/οι και οι γονείς πιστεύουν ότι τόσο οι γενετικοί, όσο και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι σημαντικοί, με τη γενετική να είναι κάπως πιο σημαντική από το περιβάλλον για όλες τις συμπεριφορές εκτός από τα προβλήματα συμπεριφοράς. Συνεπώς οι αντιλήψεις τους διακατέχονται από γενετικό ντετερμινισμό ως προς την ανθρώπινη συμπεριφορά.

Η Venville και ο Treagust (1998) στην Αυστραλία, μελετώντας τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών που δίδασκαν στη δέκατη τάξη, βρήκαν πως αυτές/οί θεωρούσαν το γονίδιο ως σωματίδιο που μετακινείται αναλλοίωτο από τον γονέα στο παιδί. Συνέδεαν το γονίδιο με ένα χαρακτηριστικό και την παρουσία του χαρακτηριστικού με την παρουσία του σωματιδιακού γονιδίου. Αυτή η κλασική θεώρηση του γονιδίου, όπου δεν λαμβάνονται υπόψη οι πρωτεΐνες ως διαμεσολαβητές, συνάδει και με τη θεώρηση των γονιδίων από τις/τους μαθήτριες/τές στην ίδια μελέτη των ερευνητών, υποδεικνύοντας πιθανώς πως και οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών όταν ερωτώνται, διαμορφώνεται ανάλογα με την εκπαιδευτική βαθμίδα στην οποία διδάσκουν. Στη Σουηδία, η Thörne και οι συνεργάτες της (2013) αντιστοίχισαν τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών που δίδασκαν την ένατη τάξη, με τα χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων των Gericke και Hagberg (2007), βρίσκοντας πως ο τρόπος που μιλούν ενσωματώνει στοιχεία από διάφορα μοντέλα και αυτός ο υβριδισμός υλοποιείται μέσω ασαφούς λόγου. Οι εκπαιδευτικοί ενσωμάτωναν στις εξηγήσεις τους πιο σύγχρονες απόψεις, όπως η έννοια της πληροφορίας και η πολυγονιδια, δηλαδή υβριδοποιούσαν πτυχές από διαφορετικά ιστορικά μοντέλα μέσα στα εξηγητικά τους μοντέλα. Ακόμα, δεν αντιμετώπιζαν ρητά και με συνέπεια τα γονίδια ως αφηρημένες οντότητες, αλλά αντιθέτως αναμείγνυαν μια τέτοια χρήση με το να μιλούν για αυτά ως τοποθετημένα στα χρωμοσώματα (ως κλασικά ή ρεαλιστικά γονίδια), για γονίδια που ελέγχουν χαρακτηριστικά, διαχωρίζοντας έτσι τα γονίδια από τα χαρακτηριστικά (κλασικά γονίδια) και καθιστώντας τα κάτι περισσότερο από αφηρημένες οντότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη πιθανοτήτων κληρονομικότητας. Τα ευρήματα της έρευνας της Antonelli-Ponti και των συνεργατών της (2018) στη Βραζιλία έδειξαν την τάση των εκπαιδευτικών να πιστεύει στην αποκλειστικότητα της γενετικής επιρροής σε σύγκριση με τον αποκλειστικό ρόλο του περιβάλλοντος, προσέγγιση που δείχνει γενετικό ντετερμινισμό. Τέλος, τα ευρήματα στη Φινλανδία, των Aivelo και Uitto (2015) υποδηλώνουν ότι υπήρχαν θεμελιώδεις διαφορές στις αντιλήψεις των Φινλανδών

εκπαιδευτικών της ανώτερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τα πιο σημαντικά θέματα της γενετικής και της διδασκαλίας της γενετικής και, στη συνέχεια, με τον τρόπο με τον οποίο επέλεγαν το περιεχόμενο του μαθήματος και το πλαίσιο κατά τη διδασκαλία της γενετικής. Οι αντιλήψεις τους μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις διακριτές περιοχές έμφασης του περιεχομένου, τις οποίες ονόμασαν οι ερευνητές Δομικές, Κληρονομικές και Αναπτυξιακές. Οι εν λόγω αντιλήψεις διαμορφώνονται με βάση τον τρόπο με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί ερμηνεύουν και χρησιμοποιούν (1) τα κεντρικά θέματα της γενετικής, (2) τα ανθρώπινα πλαίσια στη διδασκαλία της γενετικής, (3) το ενδιαφέρον των μαθητών για τα διάφορα περιεχόμενα και πλαίσια και (4) τις αντιλήψεις για τα ευαίσθητα ή αμφιλεγόμενα θέματα της γενετικής. Ενώ οι εκπαιδευτικοί ανέφεραν ότι τα κοινωνικά και προσωπικά πλαίσια είναι σημαντικά, την ίδια στιγμή οι εκπαιδευτικοί δεν διαμόρφωσαν ποτέ τα κύρια θέματα της γενετικής σε σχέση με αυτά τα πλαίσια.

Στην Ελλάδα, δεν υπάρχει εκτεταμένη έρευνα που να διερευνά τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών σε θέματα γενετικής. Ο Φόλλας (2017) επισημαίνει πως οι εναλλακτικές αντιλήψεις εμφανίζονται σε όλες τις ηλικίες από τα πρώτα χρόνια της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μέχρι και στα φοιτητικά χρόνια. Προσθέτει πως το συγκεκριμένο γεγονός μαζί με την καταγραφή της επιρροής των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών στους μαθητές, όπως φάνηκε στους Mills Shaw, Van Horne, Zhang, & Boughman (2008) και τον Chattopadhyay (2005), οδηγεί σε προβληματισμό αναφορικά με τη διδακτική και επιστημονική επάρκεια των εκπαιδευτικών που διδάσκουν τις/τους μαθήτριες/τές των σχολείων. Αν οι εκπαιδευτικοί έχουν εναλλακτικές αντιλήψεις αυτό επηρεάζει τις/τους μαθήτριες/τές τους και οι παραπάνω έρευνες έχουν δείξει ότι οι εκπαιδευτικοί φέρουν και αυτοί εναλλακτικές αντιλήψεις.

2.4.3 Η γενετική στα διδακτικά εγχειρίδια

Σε πολλές χώρες τα διδακτικά εγχειρίδια αποτελούν τις πλέον βασικές παιδαγωγικές πηγές στα σχολικά περιβάλλοντα, ακόμα και τα κύρια κριτήρια διαμόρφωσης του αναλυτικού προγράμματος σπουδών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, επηρεάζοντας έτσι τις αποφάσεις των εκπαιδευτικών ως προς την επιλογή και αλληλουχία του διδακτικού περιεχομένου, τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες, τις μεθόδους αξιολόγησης, κ.ο.κ. (Cho et al., 1985· Santos et al., 2012). Πολλοί εκπαιδευτικοί είτε σε επίπεδο πρωτοβάθμιας ή δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης χωρίς να αμφισβητούν την εγκυρότητα των διδακτικών εγχειριδίων, αναθέτουν στους μαθήτριες/τές αποσπάσματα προς ανάγνωση, θεωρώντας δεδομένη την κατανόησή τους (Gericke & Hagberg, 2010b). Εφόσον τα διδακτικά εγχειρίδια καταλαμβάνουν κεντρική θέση

στη διαμόρφωση των αντιλήψεων εκπαιδευτικών και μαθητριών/τών αποκτά σημασία η ανάλυσή τους και η αντιπαράβολή τους με τις αντιλήψεις αυτές.

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν έρευνες που έχουν ασχοληθεί με την παρουσίαση του εύρους της εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας του γονιδίου στα διδακτικά εγχειρίδια δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και πώς αυτό επηρεάζει τη διαδικασία διδασκαλίας και μάθησης των εκπαιδευόμενων (Πίνακας 5). Ακόμα, υπάρχουν έρευνες που έχουν βασίσει τη διαδικασία ανάλυσής τους στο θεωρητικό πλαίσιο των Gericke και Hagberg (2010a) και το εργαλείο με βάση τα πολλαπλά μοντέλα που οι ίδιοι οι ερευνητές ανέπτυξαν και παρουσίασαν σε άρθρο τους το 2007.

Η ομάδα των Cho και συνεργατών (1985) είχαν, προγενέστερα, εντοπίσει τις βασικές πηγές παρανοήσεων που δημιουργούν τα διδακτικά εγχειρίδια: εννοιολογική οργάνωση και αλληλουχία στα κείμενα, εννοιολογικοί συσχετισμοί βασικών όρων, χρήση όρων και στοιχεία μαθηματικών. Επιπλέον, από τότε είχε εντοπιστεί η λανθασμένη χρήση ή κατάχρηση των όρων γονίδιο, αλληλόμορφο γονίδιο και μετάλλαξη.

Στα γαλλικά διδακτικά εγχειρίδια, οι Forissier και Clément (2003) επικέντρωσαν την έρευνά τους στην παρουσίαση της αλληλεπίδρασης γονοτύπου και φαινοτύπου, αλλά και τις συνδέσεις μεταξύ της ιδέας της «βιολογικής ταυτότητας» που αποτελεί όρο του αναλυτικού προγράμματος των μαθητριών/τών (16-17 ετών) με κατεύθυνση στις επιστήμες.

Η Martínez-Gracia και οι συνεργάτες της (2006) ανέλυσαν ισπανικά διδακτικά εγχειρίδια και βρήκαν πως δίνεται μεγάλη έμφαση στο μόριο του DNA ως ένα κωδικοποιημένο μήνυμα που περιγράφει την αλληλουχία αμινοξέων των πρωτεϊνών, αλλά η σχέση μεταξύ αυτού και του προσδιορισμού των φαινοτυπικών χαρακτηριστικών αντιμετωπίζεται μόνο επιφανειακά, που έχει διατυπωθεί και σε άλλες έρευνες (Lewis et al., 2000a· Marbach-Ad, 2001) πως οδηγεί σε εναλλακτικές ιδέες ή δυσκολίες στην κατανόηση από τις/τους μαθήτριες/τές.

Στις έρευνες που χρησιμοποιούν τα ιστορικά μοντέλα των Gericke και Hagberg (2007) για την ανάλυση διδακτικών εγχειριδίων βιολογίας, πραγματοποιήθηκε για εγχειρίδια που είναι σε χρήση στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη Σουηδία, στο Ηνωμένο Βασίλειο και άλλες αγγλόφωνες χώρες όπως Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Καναδά και Αυστραλία (Gericke et al., 2014· Gericke & Hagberg, 2010a, 2010b), στη Βραζιλία (Santos et al., 2012), στη Φινλανδία (Aivelo & Uitto, 2015), αλλά και στην Ελλάδα (Christidou & Papadopoulou, 2020) (Πίνακας 5). Το κοινό σημείο όλων των διδακτικών εγχειριδίων των ερευνών ήταν η χρήση πολλαπλών, αλλά και υβριδικών μοντέλων χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν την εννοιολογική ποικιλότητα που προβάλλεται στις/στους μαθήτριες/τές χωρίς να εξηγείται (Gericke et al.,

2013). Στη Σουηδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο, καθώς και στις άλλες αγγλόφωνες χώρες τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων που ξεχώρισαν ήταν το νεοκλασικό και το Μεντελικό, ενώ στη Φινλανδία επικράτησε το Μεντελικό, ενώ απουσίαζε το σύγχρονο. Οι Christidou και Papadopoulou (2020) ανέλυσαν ελληνικά διδακτικά εγχειρίδια από τη ΣΤ΄ Δημοτικού έως τα εγχειρίδια που χρησιμοποιούνται στον προσανατολισμό των Σπουδών Υγείας στη Γ΄ Λυκείου και βρήκαν την παράλληλη χρήση των ιστορικών μοντέλων, με επικράτηση του κλασικού μοντέλου (ΣΤ΄ Δημοτικού), του Μεντελικού (Α΄ Γυμνασίου), του βιοχημικού-κλασικού (Β΄, Γ΄ Γυμνασίου, Α΄ Λυκείου), του νεοκλασικού (Β΄ Λυκείου), ενώ στα δύο εγχειρίδια της Γ΄ Λυκείου, το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο.

Ανάλυση των ελληνικών διδακτικών εγχειριδίων βιολογίας πραγματοποίησαν και οι Καμπουράκης και Αμπατζίδης (2022), χρησιμοποιώντας δύο έννοιες του γονιδίου, του κλασικό που εδράζεται στα χρωμοσώματα και σχετίζεται με ένα φαινοτυπικό χαρακτηριστικό, και του μοριακού που είναι μια αλληλουχία DNA, που περιέχει πληροφορίες για τη σύνθεση ενός λειτουργικού μορίου. Οι ερευνητές βρήκαν πως η μοριακή έννοια του γονιδίου συνυπάρχει με την κλασική έννοια του γονιδίου στην πλειοψηφία των εγχειριδίων, χωρίς να γίνεται ρητή η διαφοροποίηση των εννοιών. Επισημαίνουν πως αυτό μπορεί να ενισχύσει στις/στους μαθήτριες/τές την ιδέα πως το «μοριακό γονίδιο» και «κλασικό γονίδιο» δεν έχουν διαφορές και οι δύο έννοιες μπορούν να ενωθούν να υλοποιηθούν σε μία. Για την αποφυγή τέτοιων παρανοήσεων προτείνουν ότι θα πρέπει να ορίζεται με σαφήνεια το περιεχόμενό τους και ορισμός τους στο πλαίσιο της διδασκαλίας της βιολογίας.

Πίνακας 5. Άρθρα ανάλυσης διδακτικών εγχειριδίων και τα μοντέλα της εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας του γονιδίου που παρουσιάζουν

Χώρα διδασκαλίας	Άρθρα	Εκπαιδευτική βαθμίδα*	Ιστορικό μοντέλο / Εστίαση ανάλυσης / Αποτέλεσμα
Διεθνή διδακτικά εγχειρίδια	Cho et al., 1985	9-12	Ανάλυση παρανοήσεων
Γαλλία	Forissier & Clément, 2003	11-12	Ντετερμινιστική σχέση γονότυπου-φαινότυπου (Μεντελικό και κλασικό)

Ισπανία	Martínez-Gracia et al. 2006	10-12	Απουσία εννοιολογικής σύνδεσης σύνθετων γενετικών όρων με απλές έννοιες γενετικής
Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο	Gericke & Hagberg, 2010a	11-12	Υβριδικό (νεοκλασικό και Μεντελικό)
	Gericke & Hagberg, 2010b	9-12	Υβριδικό (νεοκλασικό και Μεντελικό)
Βραζιλία	Santos et al., 2012	11-12	Υβριδικό
Βραζιλία, Σουηδία, Αγγλόφωνες χώρες: Αυστραλία, Καναδάς, Η.Β., Αμερική)	Gericke et al., 2014	11-12	Νεοκλασικό
Φινλανδία	Aivelo & Uitto, 2015	11-12	Υβριδικό (όλα τα μοντέλα εκτός από το μοντέρνο - επικράτηση του Μεντελικού)
Ελλάδα	Christidou & Papadopoulou, 2020	6-12	Κλασικό, Μεντελικό, Βιοχημικό-κλασικό, Νεοκλασικό
Ελλάδα	Καμπουράκης & Αμπατζίδης, 2022	6-12	Συνύπαρξη κλασικού και μοριακού μοντέλου

* 1-5: Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, 6-12: Δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Πιο συγκεκριμένα, οι Gericke και Hagberg (2010b) βρήκαν πως στα σουηδικά διδακτικά εγχειρίδια χρησιμοποιούνται παράλληλα διάφορα ιστορικά μοντέλα για να περιγράψουν τη λειτουργία του γονιδίου, με πολύ σπάνια αναφορά στις πιο πρόσφατες αντιλήψεις. Αξίζει να σημειωθεί εδώ πως τα μοντέλα που παρουσιάζονται στα διδακτικά εγχειρίδια δεν αντιστοιχούν στα ιστορικά μοντέλα, για αυτό χρησιμοποιείται και ο όρος “υβριδικά”, καθώς συνδυάζουν χαρακτηριστικά που ανήκουν σε περισσότερα από ένα μοντέλα. Η εννοιολογική ποικιλότητα που είναι αποτέλεσμα της χρήσης πολλαπλών ιστορικών μοντέλων δεν είναι από μόνη της προβληματική, αφού είναι χρήσιμη στους επιστήμονες (Aivelo & Uitto, 2015), αλλά είναι δύσκολη η συνειδητοποίηση από μαθητρίες/τές και

εκπαιδευτικούς ότι διαφορετικές πτυχές της γονιδιακής λειτουργίας μπορούν να παρουσιαστούν με διαφορετικούς τρόπους. Παρόμοια εικόνα έχουν και τα βραζιλιάνικα διδακτικά εγχειρίδια (Santos et al., 2012), όπου ο κανόνας είναι η παρουσίαση υβριδικών απόψεων του γονιδίου σε μικρή αντιστοιχία με τα ιστορικά μοντέλα, χωρίς να παρέχουν υποστήριξη στις/στους μαθήτριες/τές για μια πιο εξελιγμένη και επαρκή κατανόηση των γονιδίων και της λειτουργίας τους. Το περιεχόμενο και των φινλανδικών διδακτικών εγχειριδίων (Aivelo & Uitto, 2015) οργανώνεται με παρόμοιο τρόπο, συμπεριλαμβάνονται όλα τα είδη των μοντέλων εκτός από το σύγχρονο, με κυρίαρχη την παρουσία του Μεντελικού και των υβριδικών μοντέλων.

Τέλος, σημαντικό εύρημα τόσο στα γαλλικά (Forissier & Clément, 2003), φινλανδικά (Aivelo & Uitto, 2015) αλλά και σουηδικά και αγγλικά (Gericke & Hagberg, 2010a) διδακτικά εγχειρίδια βρέθηκαν περιπτώσεις γενετικού ντετερμινισμού, με βασική τη γραμμική αιτιότητα ανάμεσα στον γενότυπο και τον φαινότυπο ενός οργανισμού, χωρίς την επιρροή περιβαλλοντικών παραγόντων.

Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο παραπάνω κεφάλαιο αναλύθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Η σημασία του γενετικού γραμματισμού, πτυχή του επιστημονικού γραμματισμού, είναι ευρέως καταγεγραμμένη σε πλήθος ερευνών, και η ενσωμάτωση της γενετικής σε αναλυτικά προγράμματα σπουδών στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση διεθνώς αποδεικνύει τα βήματα που έχουν πραγματοποιηθεί για την ενίσχυσή του. Μελέτες που αναδεικνύουν αντιλήψεις μαθητριών/τών και φοιτητριών/τών, ωστόσο, υποδεικνύουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση της ορολογίας της γενετικής, εννοιολογική σύγχυση, καθώς και αδυναμία στην κατανόηση πολύπλοκων γενετικών φαινομένων και διαδικασιών σε διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα, όπως το μοριακό, το κυτταρικό και το φαινομενολογικό (φαινοτυπικό). Η εγγενής εννοιολογική ποικιλότητα σε όρους της γενετικής όπως αυτή του «γονιδίου» ή της «γονιδιακής λειτουργίας», έχοντας λάβει ιστορικά διαφορετικές ερμηνείες και εξηγήσεις, δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο τη διδασκαλία της. Στην εκπαιδευτική διαδικασία καλούνται οι εκπαιδευτικοί, πέρα από τις προαναφερθείσες δυσκολίες που έχουν να αντιμετωπίσουν, να αντιμετωπίσουν και τις εναλλακτικές αντιλήψεις των εκπαιδευόμενων, που συχνά καλλιεργούνται και μέσω των μέσων μαζικής ενημέρωσης, του οικογενειακού περιβάλλοντος, ή άλλων άτυπων μορφών εκπαίδευσης.

Στοιχεία όπως η ενσωμάτωση στη διδακτική διαδικασία της γενετικής, στοιχείων της ιστορίας της επιστήμης, καθώς και σύγχρονες έννοιες του κλάδου αυτού προτείνονται στη βιβλιογραφία ως θετική επιρροή στα μαθησιακά αποτελέσματα των εκπαιδευόμενων, καθώς συνδέουν την αποκτώμενη γνώση με σύγχρονα προβεβλημένα ζητήματα της καθημερινότητας. Όλα τα παραπάνω αποτελούν δομικά στοιχεία του ερευνητικού σχεδιασμού και της υλοποίησης της διατριβής

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται το μεθοδολογικό πλαίσιο με βάση το οποίο διενεργήθηκε η έρευνα της παρούσας διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά καταγράφεται η μεθοδολογία της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης της διεθνούς βιβλιογραφίας, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη συσχέτιση των καταγεγραμμένων αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία με τα ιστορικά μοντέλα που περιγράφουν την τελευταία. Παρουσιάζεται η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου ως η επιλεγμένη μεθοδολογική προσέγγιση για την παραπάνω ανάλυση. Η αναγκαιότητα για την εμβάθυνση στη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία προέκυψε στο πλαίσιο των στόχων της έρευνας, στους οποίους συμπεριλαμβάνεται η ανίχνευση των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών. Παρά τις λίγες αναφορές αντιστοίχισης των ιστορικών μοντέλων με αντιλήψεις των δύο ομάδων, σε κάποιες έρευνες που παρουσιάζονται στην επισκόπηση της βιβλιογραφίας στο κεφάλαιο του θεωρητικού πλαισίου, κρίθηκε απαραίτητο να εξεταστούν και οι υπόλοιπες σχετικές έρευνες στο πλαίσιο των ιστορικών μοντέλων ώστε να επιτευχθεί όπου δυνατό η ύπαρξή τους στις αντιλήψεις.

Επίσης, παρουσιάζονται οι μεθοδολογικές επιλογές κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση της διερεύνησης των αντίστοιχων αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται όλα τα απαραίτητα στοιχεία σχετικά με τις/τους συμμετέχουσες/οντες και τον τρόπο επιλογής τους, ενώ γίνεται αναλυτική περιγραφή των φάσεων δημιουργίας και εφαρμογής του ερευνητικού εργαλείου, καθώς και η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων για την αντιστοιχία τους με τα ιστορικά μοντέλα περιγραφής της γονιδιακής λειτουργίας.

Πίνακας 6. Φάσεις έρευνας διδακτορικής διατριβής

Φάσεις Έρευνας	Είδος Έρευνας	Αντικείμενο Εξέτασης / Συμμετέχουσες/οντες	Εργαλείο/Τεχνική Έρευνας	Σύνδεση με ερευνητικά ερωτήματα
Πρώτη φάση	Ποιοτική συστηματική ανασκόπηση βιβλιογραφίας	Διεθνής βιβλιογραφία για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία	Ποιοτική Ανάλυση περιεχομένου	Ερευνητικά ερωτήματα 1 & 2

Δεύτερη φάση	Πιλοτική έρευνα	3 μαθήτριες/τές Γ' Λυκείου (3ο Πεδίο: Σπουδών Υγείας και Ζωής) 3 μαθήτριες/τές Α' Λυκείου	Συνεντεύξεις	Ερευνητικά ερωτήματα 3 έως 6
Τρίτη φάση	Διερεύνηση αντιλήψεων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία	16 μαθήτριες/τές Γ' Λυκείου (3ο Πεδίο: Σπουδών Υγείας και Ζωής)	Συνεντεύξεις	Ερευνητικά ερωτήματα 3 έως 6
	Διερεύνηση αντιλήψεων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία	25 Βιολόγοι εκπαιδευτικοί Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης	Συνεντεύξεις	
	Ανίχνευση ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στις αντιλήψεις	Απομαγνητοφωνήσεις συνεντεύξεων	Ποιοτική Ανάλυση περιεχομένου	

3.1 Ποιοτική συστηματική ανασκόπηση των δημοσιευμένων εργασιών

Η μέθοδος της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας αποτελεί έναν τύπο επισκόπησης ανάμεσα σε άλλους, κατά τους Grant και Booth (2009), που παρέχει ευρήματα πιο ισχυρά από μεμονωμένα σχόλια σε τοπικά ερωτηματολόγια ή έρευνες. Χρησιμοποιείται κυρίως στις έρευνες επιστημόνων υγείας, όπως για παράδειγμα στην αιτιογνωστική επιδημιολογία (Γαλάνης, 2009), ώστε να αναγνωριστούν, εκτιμηθούν και να επιλεγούν οι καλύτερα μεθοδολογικά σχεδιασμένες πρωτογενείς μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας με σκοπό την ενοποίηση δεδομένων και την εξαγωγή σαφέστερων συμπερασμάτων, καθώς και τη λήψη κλινικών αποφάσεων (Πατελάρου & Μπροκαλάκη, 2010).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε λόγω του ερμηνευτικού χαρακτήρα της μεθόδου για την κατανόηση ενός φαινομένου, στη συγκεκριμένη περίπτωση, της ανίχνευσης των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων σε αντιλήψεις εκπαιδευόμενων και εκπαιδευτών σε προϋπάρχουσες μελέτες της διεθνούς βιβλιογραφίας (Grant & Booth, 2009). Για αυτόν τον σκοπό ακολουθήθηκαν τα στάδια-βήματα όπως αυτά συνοψίζονται από τις Πατελάρου και Μπροκαλάκη (2010) στον Πίνακα 7, στα οποία υπάρχει συναίνεση τα τελευταία χρόνια από την ερευνητική κοινότητα. Τα βήματα της διατύπωσης ερευνητικού ερωτήματος, παρουσίασης και ερμηνείας αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται στις αντίστοιχες ενότητες της παρούσας διατριβής.

Διατύπωση ερευνητικού ερωτήματος
Καθορισμός των κριτηρίων εισόδου και αποκλεισμού
Αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας
Αξιολόγηση και επιλογή των μελετών
Καταγραφή των δεδομένων
Παρουσίαση αποτελεσμάτων
Ερμηνεία αποτελεσμάτων

3.1.1 Καθορισμός των κριτηρίων εισόδου και αποκλεισμού των μελετών

Κατά την επισκόπηση της διεθνούς ερευνητικής δραστηριότητας, με σκοπό τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σχετικά με την έννοια του γονιδίου και τη γονιδιακή λειτουργία, διαπιστώθηκε η δυνατότητα ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης μέρους των δημοσιευμένων εργασιών, με άξονα στα πέντε ιστορικά πολλαπλά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανέπτυξαν οι Gericke και Hagberg (2007) (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό και σύγχρονο).

Πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα άρθρων δημοσιευμένων σε 105 επιστημονικά περιοδικά για την εκπαίδευση παγκοσμίως, με φράσεις σχηματιζόμενες από συνδυασμούς των λέξεων-κλειδιά στις μηχανές αναζήτησης Scopus και Google Scholar: «students' / teachers' conceptions, genetics education, alternative ideas, gene concept, gene (historical) model(s), students' understanding of genetics». Οι δημοσιεύσεις (επιστημονικά άρθρα, διδακτορικές και μεταπτυχιακές διατριβές) που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη ποιοτική συστηματική ανασκόπηση επιλέχθηκαν με βάση τα παρακάτω κριτήρια: α) να διερευνούν αντιλήψεις μαθητριών/τών ή εκπαιδευτικών σε θέματα γενετικής και β) να υπάρχει στο μέρος των αποτελεσμάτων ή της συζήτησης αναφορά σε λέξεις ή φράσεις που περιγράφουν την έννοια του γονιδίου ή τη γονιδιακή λειτουργία και αντιστοιχούν στα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.

Συνολικά, από τα 129 άρθρα που αφορούσαν σε διερεύνηση αντιλήψεων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία, αναλύθηκαν συνολικά 49 επιστημονικές δημοσιεύσεις, εκ των οποίων 38 παρουσίαζαν αντιλήψεις μαθητριών/τών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και οκτώ παρουσίαζαν αντιλήψεις φοιτητριών/τών σε προπτυχιακό επίπεδο, ενώ 11 επιστημονικά άρθρα περιλάμβαναν τις αντιλήψεις εν ενεργεία εκπαιδευτικών της πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς και εκπαιδευόμενων μελλοντικών καθηγητριών/τών (pre service teachers)

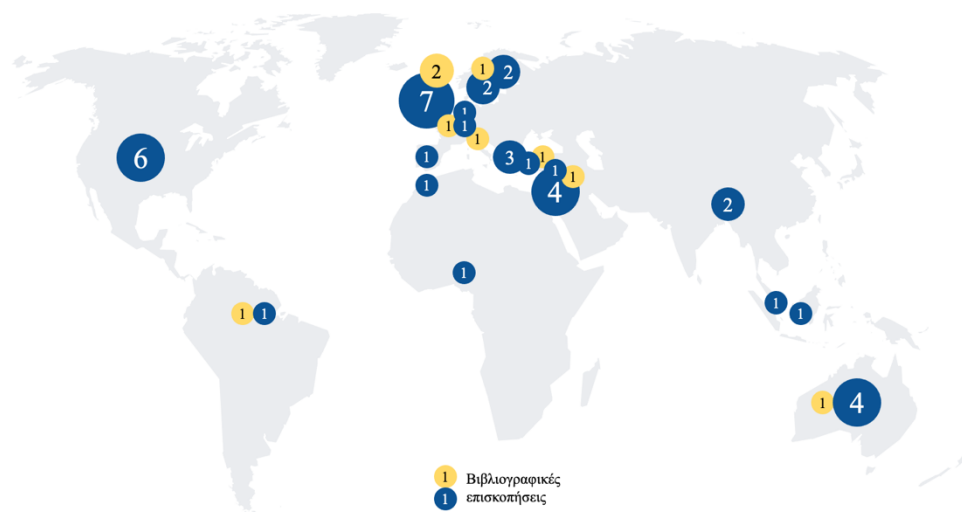
(Πίνακας 8). Να σημειωθεί ότι η συμπερίληψη των άρθρων που αφορούν σε αντιλήψεις προπτυχιακών φοιτητριών/τών πραγματοποιήθηκε αφενός γιατί η βασική γνώση των εννοιών γενετικής προέρχεται από τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, και αφετέρου επειδή σε πολλές περιπτώσεις η φοίτηση αυτών συμπίπτει και με μελλοντική ένταξή τους στην εκπαίδευση ως εκπαιδευτικοί. Ακόμα, σε μερικές περιπτώσεις δημοσιεύσεων, καταγράφονται αντιλήψεις παραπάνω από μία ομάδα συμμετεχόντων, όπως για παράδειγμα μαθητριών/τών και φοιτητριών/τών από διαφορετικές εκπαιδευτικές βαθμίδες, οδηγώντας σε αντιστοίχιση πολλαπλών ιστορικών μοντέλων ανά δημοσίευση. Στην Εικόνα 1 φαίνεται και η παγκόσμια κατανομή των δημοσιεύσεων, που περιλαμβάνει έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε 18 χώρες για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και οκτώ χώρες για αυτές των εκπαιδευτικών, καθώς και δύο βιβλιογραφικές επισκοπήσεις.

Πίνακας 8. Σύνολο επιστημονικών εργασιών που αναλύθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών.

Επιστημονικά άρθρα και μεταπτυχιακές/διδασκαλικές διατριβές για αντιλήψεις μαθητριών/τών (38 ^α)	Επιστημονικά άρθρα για αντιλήψεις εκπαιδευτικών (11)
Agorram et al., 2010· Ahmed et al., 2018· Banet & Ayuso, 2000· Chin & Teou, 2010· Clough & Wood-Robinson, 1985· Donovan & Venville, 2012· Dorji, Tshering, Chettri, et al., 2017· Dorji, Tshering, & Dorji, 2017· Duncan et al., 2011· Duncan & Reiser, 2007· Duncan & Tseng, 2011· El-Hani et al., 2014· Gericke et al., 2013· Gericke & Hagberg, 2007· Gericke & Wahlberg, 2013· Halldén, 1988· Haskel-Ittah et al., 2018· Haskel-Ittah & Yarden, 2017· Koers, 2016· LeVaughn, 2016· Lewis et al., 2000a· Lewis, 2014· Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000· Marbach-Ad, 2001· Marbach-Ad & Stavy, 2000· Mardiyyaningsih, 2021· Newman et al., 2021· Osman et al., 2017· Saka et al., 2006· Tsui & Treagust, 2010a· Venville et al., 2005· Venville & Treagust, 1998· Wood-Robinson et al., 2000· Γιασεμής, 2011· Κεμεντσιετζίδου, 2009· Κουμπάρου et al., 2011	Antonelli-Ponti et al., 2018· Dikmenli et al., 2011· Forissier & Clément, 2003· Gericke & Hagberg, 2007· Kampourakis et al., 2016· Marbach-Ad, 2001· Martins & Ogborn, 1997· Newman et al., 2021· Thörne et al., 2013· Venville & Treagust, 1998· Walker & Plomin, 2005

^α Η διδακτορική διατριβή της Mardiyyaningsih [2021] μετρήθηκε δύο φορές, γιατί μελετά μαθήτριες/τές σε δύο διαφορετικές χώρες (Η.Β. & Ινδονησία)

- 38 επιστημονικές δημοσιεύσεις για αντιλήψεις μαθητριών/τών (1985-2021)
- 11 επιστημονικές δημοσιεύσεις για αντιλήψεις εκπαιδευτικών (1997-2021)
- Τα νοήματα στους κύκλους αντιπροσωπεύουν τον αριθμό δημοσιεύσεων ανά χώρα



Εικόνα 1. Κατανομή επιστημονικών δημοσιεύσεων για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών ανά χώρα έρευνας.

3.1.2 Αξιολόγηση και επιλογή των μελετών

Για την επεξεργασία των δημοσιευμένων εργασιών ακολουθήθηκε η ερευνητική μέθοδος της ανάλυσης περιεχομένου (content analysis) (Krippendorff, 2019), αντλώντας στοιχεία από τη διαδικασία της ανάλυσης των Gericke και Hagberg (2010b) στη διερεύνηση την εννοιολογικής ποικιλότητας της γονιδιακής λειτουργίας σε σχολικά εγχειρίδια ως θεωρητικό πλαίσιο, όπως περιγράφεται αναλυτικότερα στην ανάλυση των δεδομένων της κύριας μελέτης. Οι ερευνητές τροποποίησαν το ερευνητικό εργαλείο, όπως παραδοσιακά εφαρμόζεται ως εννοιολογική ανάλυση κατά την οποία η παρουσία μιας επιλεγμένης έννοιας ποσοτικοποιείται και καταμετράται κατά τους Palmquist κ.ά. (1997), ώστε να αναλύσουν τις διαφορετικές σημασίες εννοιών. Δηλαδή, τη σημασία, τα νοήματα που αποκτούν οι έννοιες από το γεγονός ότι αποτελούν στοιχειώδη δομικά στοιχεία ενός μοντέλου, στη συγκεκριμένη περίπτωση των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.

Για τους Gericke και Hagberg (2010b) μονάδες ανάλυσης αποτελούσαν κεφάλαια ή μέρη των διδακτικών εγχειριδίων κάτι που ήταν ανεφάρμοστο στην παρούσα έρευνα. Εδώ, οι μονάδες ανάλυσης ορίστηκαν ως είτε αποσπάσματα των δημοσιευμένων εργασιών στα οποία γινόταν αναφορά αυτούσιου λόγου μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών να περιγράφουν τη δομή ή/και τη λειτουργία του γονιδίου, ή αποσπάσματα του κειμένου της έρευνας όπου οι ερευνήτριες/τές αναφέρονται σε αντιλήψεις σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.

Το ερευνητικό εργαλείο για την ανάλυση των δεδομένων βασίστηκε στα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανέπτυξαν οι Gericke και Hagberg (2007) (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό και σύγχρονο), συμπεριλαμβανομένων και των επιπλέον επιστημολογικών χαρακτηριστικών όπως αυτά προέκυψαν μετά από αντίστοιχες έρευνες ανάλυσης σχολικών εγχειριδίων (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012) όπως φαίνονται στον Πίνακα 2. Σε κάθε μονάδα ανάλυσης γινόταν προσπάθεια εντοπισμού και των εννιά επιστημολογικών χαρακτηριστικών, όπου αυτό ήταν εφικτό. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αντιστοίχιση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που βρέθηκαν με τα ιστορικά μοντέλα (Πίνακας 3), έτσι ώστε να γίνει η κατηγοριοποίηση των αντιλήψεων. Στην περίπτωση που επιστημολογικά χαρακτηριστικά από διαφορετικά ιστορικά μοντέλα συνυπήρχαν στις αντιλήψεις που περιγράφονταν σε μία επιστημονική μελέτη και αντιμετωπίζονταν σαν να αποτελούσαν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο (Justi & Gilbert, 1999), τότε το μοντέλο χαρακτηριζόταν ως υβριδικό, ακολουθώντας τον τρόπο με τον οποίο οι Gericke και Hagberg (2010a) βάσισαν τη μέθοδό τους για τον καθορισμό των μοντέλων σε αυτή που περιγράφεται από τους Justi και Gilbert (2000).

Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 9 από την παρακάτω μονάδα ανάλυσης για την επιστημονική δημοσίευση των Donovan και Venville (2012), οι αντιλήψεις των μαθητριών/τών γυμνασίου διέπονταν από τη ντετερμινιστική πεποίθηση ότι τα γονίδια ορίζονται από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά που κωδικοποιούν όπως φαίνεται στο απόσπασμα παρακάτω, ή ακόμα, δεν υπήρχε διαχωρισμός μεταξύ των γονιδίων και των χαρακτηριστικών. Αυτή η πεποίθηση κωδικοποιείται από το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που εξηγεί τη σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4a – Πίνακας 2) και ανήκει στην περιγραφή του Μεντελικού μοντέλου γονιδιακής λειτουργίας.

«...τα γονίδια είναι τα χαρακτηριστικά, τα χαρακτηριστικά σας είναι τα γονιδιά σας (δηλαδή η ντετερμινιστική πεποίθηση ότι γονίδιο = χαρακτηριστικό), το DNA είναι η συμπεριφορά (4c)» - μετάφραση

«...genes are the features, Your features are your genes (i.e. deterministic belief that gene = trait), DNA is behaviour (4c)»

Ακόμα, οι δύο ερευνήτριες βρήκαν πως η εκτίμηση των μαθητριών/τών για τη μορφή των γονιδίων, περιείχε αναφορά σε κληρονομήσιμα σωματίδια είτε απροσδιόριστης υλικής δομής (1a – Μεντελικό μοντέλο) ή τμημάτων DNA (1c – νεοκλασικό μοντέλο).

*«έδειξαν να εκτιμούν ότι **ορισμένα σωματίδια (DNA (1c) ή/και γονίδια (1a) μεταβιβάζονται από τους γονείς στα παιδιά, δημιουργώντας σχέση (συνήθης απάντηση) και ομοιότητα (λιγότερο συνηθισμένη απάντηση).**» - μετάφραση*

*«they indicated an appreciation that **some particles (DNA (1c) and/or genes (1a) are passed from parents to children, establishing relationship (usual answer) and similarity (less common answer).**»*

Επομένως, οι αντιλήψεις των μαθητριών/τών όπως ερευνήθηκαν από τις Donovan και Venville (2012) κατατάχθηκαν ως υβριδικές, καθώς υπάρχει συνύπαρξη επιστημολογικών χαρακτηριστικών διαφορετικών ιστορικών μοντέλων.

Άλλο παράδειγμα, στην έρευνα των Lewis και Kattmann (2004), που ρώτησαν μαθήτριες/τές 14-16 ετών στο Ηνωμένο Βασίλειο σχετικά με την κατανόηση εννοιών της γενετικής, βρήκαν πως:

«τα γονίδια θεωρούνται ως μικρά σωματίδια (1b) που περιέχουν ένα γνώρισμα ή χαρακτηριστικό σε μικρογραφία (1a) και δεν γίνεται σαφής διάκριση μεταξύ γονότυπου και φαινοτύπου (4a)». - μετάφραση

«genes are viewed as small particles (1b) containing a trait or characteristic in miniature (1a) and no clear distinction between the genotype and phenotype is made (4a).»

Αν και γίνεται αναφορά σε σωματιδιακή υπόσταση του γονιδίου από τις μαθήτριες/τές που παραπέμπει στην κλασική θεώρηση του γονιδίου (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1b), η έλλειψη συσχέτισης αυτού με τη θέση του στο χρωμόσωμα και η εξίσωση γονιδίου-γνωρίσματος/χαρακτηριστικού οδήγησε στην αντιστοίχιση της αντίληψης αυτής με το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1a, όπου χαρακτηρίζει το γονίδιο ως μια αφηρημένη οντότητα που δεν έχει δομή. Ακόμα, η μη διάκριση γονότυπου και φαινοτύπου αντιστοιχούν στο επιστημολογικό χαρακτηριστικό 4a (δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονότυπου και φαινοτύπου). Συνεπώς, αυτά τα δύο χαρακτηριστικά ανήκουν κατά αποκλειστικότητα στο Μεντελικό μοντέλο και οι αντιλήψεις στην προκειμένη έρευνα χαρακτηρίστηκαν από αυτό (Πίνακας 9).

Με τον ίδιο τρόπο απαντήσεις μαθητριών/τών της ένατης βαθμίδας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην έρευνα των Duncan και Tseng (2011) περιλάμβαναν την αντίληψη πως το

γονίδιο θεωρείται φορέας και/ή μονάδα πληροφορίας, και έτσι αντιστοιχήθηκαν στο επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1e που ανήκει στο νεοκλασικό μοντέλο (Πίνακας 9).

«Τα γονίδια λένε πώς θα είμαστε. Τα γονίδια είναι σαν ένα πρόγραμμα/χάρτης/προσχέδιο των χαρακτηριστικών/χαρακτηριστικών μας κ.λπ. (1e)» - μετάφραση

*«Genes say what we will be like. Genes are like a **program/map/blueprint**, etc. (1e)»*

Σε έρευνα των Haskel-Ittah και Yarden (2017) (Πίνακας 9) οι μαθήτριες/τές περιγράψανε τη σχέση γονιδίου με τον φαινότυπο χωρίς να εξηγούν τις διαμεσολαβητικές διαδικασίες που περιγράφονται από τις πρωτεΐνες:

*«...οι περισσότεροι μαθητές περιέγραψαν την επίδραση των γονιδίων στο χαρακτηριστικό (trait) με έναν **μη-μηχανιστικό τρόπο** (5Ia), μέσω **συνδυασμών αλληλόμορφων** (γονιδίων) (1b) [...] οι περισσότεροι μαθητές συνέδεσαν το γονίδιο με το χαρακτηριστικό, **αλλά όχι μέσω των πρωτεϊνών** (4b).» - μετάφραση*

*«most students described genes as affecting the trait **in a non-mechanistic way** (5Ia), **through allelic combinations** (1b). [...] Most students did connect gene to trait **but not via proteins**. (4b)»*

Η γονιδιακή λειτουργία περιγράφεται εδώ με διαχωρισμό χωρίς επεξήγηση της σύνδεσης μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4b – κλασικό μοντέλο), χωρίς να αναλύονται μηχανιστικά αυτές οι σχέσεις (5Ia – Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό μοντέλο) και γίνεται αναφορά στα αλληλόμορφα που σχετίζονται με τα χρωμοσώματα (1b – κλασικό και βιοχημικό-κλασικό μοντέλο), επομένως οι αντιλήψεις εμπίπτουν στο κλασικό μοντέλο.

Η Newman και οι συνεργάτες της (2021) βρήκαν ότι βιολόγοι φοιτήτριες/τές προπτυχιακού επιπέδου (Πίνακας 9) περιγράφουν:

*«...ένα γονίδιο ως κάτι που **βρίσκεται σε χρωμόσωμα** (1b) ή σε **τμήμα DNA** (1c) (δομικό).» - μετάφραση*

*«a gene as something that was located on **chromosome** (1b) or a **stretch of DNA** (1c) (structural).»*

Αυτές οι αντιλήψεις συνδέονται με τη χρωμοσωμική υπόσταση του γονιδίου (1b – κλασικό και βιοχημικό-κλασικό μοντέλο) και με τη μοριακή υλική υπόστασή του, αφού κάποιες/οι αναφέρονται σε αυτό ως τμήματα DNA (1c – νεοκλασικό μοντέλο). Ακόμα, η πλειοψηφία των φοιτητριών/τών περιγράφει το γονίδιο ως μονάδα πληροφορίας – για το χρώμα ματιών, μαλλιών κλπ. – (1e – νεοκλασικό μοντέλο), η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) (3b – νεοκλασικό μοντέλο) και δεν υπάρχει εξήγηση για τη σύνδεση γονοτύπου-φαινοτύπου (4b – κλασικό μοντέλο), όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα που αναλύθηκε:

«το 70% των φοιτητών περιέγραψε ένα γονίδιο ως κάτι που καθορίζει ένα γνώρισμα/χαρακτηριστικό (1e, 3b, 4b) (φαινοτυπικό αποτέλεσμα- π.χ. "Ορισμένα γονίδια κωδικοποιούν το χρώμα των ματιών ή το χρώμα των μαλλιών.")». - μετάφραση

«70% of students described a gene as something that determines a trait/characteristic (1e, 3b, 4b) (phenotypic outcome· e.g., "Certain genes code for eye color or hair color.")»

Συνεπώς, από το τελευταίο απόσπασμα προέκυψε το υβριδικό μοντέλο μεταξύ κλασικού και νεοκλασικού. Στην ίδια έρευνα (Πίνακας 10), οι διδάκτορες Μοριακής Βιολογίας, Γενετικής και σχετικών κλάδων Βιολογίας περιέγραψαν πως:

«ένα γονίδιο ως κάτι που κωδικοποιεί ένα RNA ή μια πρωτεΐνη (μοριακή διαδικασία)» - μετάφραση

«a gene as something that codes for an RNA or protein (molecular process)»

Αυτή η αντίληψη θεωρεί το γονίδιο ως φορέα πληροφορίας (1c/1e – νεοκλασικό μοντέλο), ενώ η γονιδιακή έκφραση περιεγράφηκε ως μια «διαδικασία που περιλαμβάνει τη μεταγραφή και τη μετάφραση», βιοχημικές διαδικασίες που αποτυπώνουν τη σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4d – νεοκλασικό/σύγχρονο μοντέλο), επισημαίνοντας το μοριακό επίπεδο στο οποίο καθορίζεται η γονιδιακή λειτουργία (2Ic – νεοκλασικό/σύγχρονο μοντέλο), καθώς και οι νατουραλιστικές σχέσεις που διέπουν την περιγραφή της (5Ib – νεοκλασικό/σύγχρονο μοντέλο) έναντι των ιδεαλιστικών. Οι αντιλήψεις αυτές κατηγοριοποιήθηκαν ως υβριδικές μεταξύ νεοκλασικού και σύγχρονου μοντέλου, καθώς επιστημονικά χαρακτηριστικά που συναντώνται και στα δύο αυτά μοντέλα ανιχνεύθηκαν.

Πίνακας 9. Δημοσιευμένες εργασίες (N = 38) για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών για το γονίδιο και τη γονιδιακή και η αντιστοιχισή τους με τα ιστορικά μοντέλα της εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας του γονιδίου σύμφωνα με αποσπάσματά τους κατά τη συστηματική ανασκόπηση, σε χρονολογική σειρά.

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Ηνωμένο Βασίλειο	Clough and Wood-Robinson, 1985	7-11	Συνεντεύξεις	The percentage of students offering a good genetic explanation to any one of the tasks rose a little at 16 years, though nearly two-thirds of this age group did seem to have some intuitive idea of a particulate genetic activity (1b). Genetic entity passed on at fertilization determines features (2Ia, 3a)
Φινλανδία	Halldén, 1988	11	Συζήτηση σε ομάδες	"the hereditary dispositions for a given trait are to be found in the genes (3a, 4b), and that genes are to be found in the chromosomes (1b), which consist of DNA molecules (1c)"
Αυστραλία	Venville & Treagust, 1998	10	Γραπτές ερωτήσεις, μη τεχνική μέθοδος συνέντευξης, βιντεοσκόπηση ή μαγνητοφώνηση σχετικών μαθημάτων σε τάξη	Passive particle gene model (1b): This initial, passive, particle-like view of genes is consistent with Martins and Ogborn's (1997) basic model that primary school teachers used. -- the most common notion of genes held by students researched A majority of the students had an active particle gene conception (1b) after attending a genetics course.
Ισπανία	Banet & Ayuso, 2000	9-12	Κατασκευή εννοιολογικών χαρτών, ατομικές μαγνητοφωνημένων συνεντεύξεων, γραπτές ερωτήσεις (ανοιχτού τύπου, πολλαπλών επιλογών)	genes contain inheritance information (1e) and are transmitted from parents to kids and from cell to cell (2Ib)
Ηνωμένο Βασίλειο	Lewis & Wood-Robinson, 2000	10	Γραπτές ερωτήσεις, συζητήσεις σε μικρές ομάδες	students think of genes as determining characteristics (1a) or provide information (1e), not as a protein producer (4b). [...] ...very few students had any clear understanding of a gene as a physical entity with a specific location on a chromosome // all characteristics are determined by the genes - including behaviour and personality (3b).

Πίνακας 9, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Ηνωμένο Βασίλειο	Lewis et al., 2000a	9-11	Γραπτές ερωτήσεις	What are genes made up of?: 25% chromosomes (1cx), 18% DNA (1c) [...] lack of basic understanding of what a gene is [...] 'gene' and 'chromosome' were often used interchangeably. [...] About half of the students who took part in this study showed a good general understanding that genes determine characteristics and some awareness that this is because genes contain or provide information.
Ισραήλ	Marbach-Ad & Stavy, 2000	9, 12	Γραπτές ερωτήσεις, ατομικές συνεντεύξεις	students gave answers rather on a cellular than a molecular level (2Ib): 'almost all micro-level explanations were on the microscopic level (the students especially used the concept of gene) rather than the submicroscopic [molecular, authors' comments] level' (p. 202).
Ηνωμένο Βασίλειο	Wood-Robinson et al., 2000	10	Μαγνητοφωνημένες και βιντεοσκοπημένες συζητήσεις	Difficulties: distinction between gene and allele: The universal and identical nature of the genetic information in all the somatic cells of an organism-whatever their function [...] Features of chromosomes, genes, and DNA mentioned across nine discussion groups: determine characteristics (2Ia)
Ισραήλ	Marbach-Ad, 2001	9, 12	Γραπτές ερωτήσεις, ατομικές συνεντεύξεις, κατασκευή εννοιολογικών χαρτών	9th graders: ' a gene is a trait ', or ' a gene is composed of a trait ' (1a), or ' a gene is responsible for a trait ' (3b) [...] 12th graders: ' the gene determines a trait ' (4a)
Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία	Lewis & Kattmann, 2004	9-12	Γραπτές ερωτήσεις, μαγνητοφωνημένες συζητήσεις σε μικρές ομάδες, μαγνητοφωνημένες συνεντεύξεις με μια κεντρική προβληματική	A predominant particulate (1a) view of the gene [...] genes are viewed as small particles containing a trait or characteristic in miniature (1a) and no clear distinction between the genotype and phenotype (4a) is made.

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Αυστραλία	Venville et al., 2005	3-10	Συνεντεύξεις	for these students, a “gene” is, in practice, a physical trait (1a) [...] Some students did not differentiate between the concept of a 'gene' and the notion of characteristics. (4a) [...] genes exist in the body part that they control and not in other places in the body: evident in the history of genetics. A theory that gained popularity during the 19th century, the atomistic view, suggested that small particles were produced in the various parts of the body, migrated to the semen and menstrual fluid and were responsible in the embryo for building the body part from where they came (Dunne, 1965).
Τουρκία	Saka et al., 2006	8, 9, 11, προπτυχιακό επίπεδο (μελλοντικοί εκπαιδευτικοί)	Απεικονίσεις, (ανοιχτές) γραπτές ερωτήσεις και ημιδομημένες συνεντεύξεις	misconception: a gene is a hereditary trait (1a) [...] All of the students made functional explanations for the concept of gene, but none made structural explanations (4a) [...] students think of the structure of genes as different from that of DNA and its relation to where genes are located on a chromosome (1b)
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Duncan & Reiser, 2007	10	Γραπτές ερωτήσεις και κλινικές συνεντεύξεις	that students view genes as coding for multiple biological structures and functions (1e) rather than proteins alone [...] tenth grade students tend to describe genes as blueprints that contain information about whole traits (such eye color), functions of organs (such a heart rate), as well as the structure and function of cells and proteins (1e) [...] genetic phenomena are construed as hybrid hierarchical systems because they contain hierarchically organized levels (2Ibx) (proteins make up cells, which make up tissues, etc.) that are either information (1e) or physical-functional (hence a hybrid system) [...] only a third held an information view of genes and none held a notion of genes as instructions for proteins, even after instruction (4b)

Πίνακας 9, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Βιβλιογραφική επισκόπηση	Gericke & Hagberg, 2007	9-10, προπτυχιακό επίπεδο	-	hybrid : students' understanding as reviewed in this paper correlates mainly to the first three models (Mendelian, Classical & Biochemical-Classical), hence, are mostly founded in classical genetics and very similar to the scientific view of the first half of the twentieth century.
Ελλάδα	Κεμεντσιεντζίδου, 2009	9	Γραπτές ερωτήσεις κλειστού τύπου	Η πλειοψηφία των μαθητών (68%) απάντησε σωστά ότι « το γονίδιο είναι τμήμα του DNA (1c) στο οποίο περιέχονται πληροφορίες για τη σύνθεση μορίων πρωτεϊνών (4b) ή μορίων RNA » (4d) [...] κανένας μαθητής δεν συνέδεσε τις πρωτεΐνες με τα χαρακτηριστικά παρά μόνο με τα γονίδια.
Μαρόκο	Agorram et al., 2010	Προπτυχιακό επίπεδο	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού τύπου	The Neoclassical model gene concept (A stretch of DNA sequence that codes for a particular protein (1c)) (55.3%) was quite popular as was the Mendelian model (unit determining a character (2Ia)) (33%).
Σιγκαπούρη	Chin & Teou, 2010	5	Παρουσίαση σκίτσου και διαγράμματα ή εικόνες των μαθητριών/τών για παρουσίαση των ιδεών τους	Several pupils believed that the sex of a baby depended on the number of genes passed down from the parents to the child. If more genes were inherited from the father, the baby would be a boy. On the other hand, if there were more genes from the mother, then the baby would be a girl. [...] Mendelian model : gene as a hypothetical construct (1a), linked to a trait (sex) (2Ia)

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Αυστραλία	Tsui & Treagust, 2010	10, 12	Διαγνωστικό εργαλείο δύο επιπέδων	21.2% 10th and 28.6% 12th: consider the gene as a biophysical entity but not as information (1e) [...] two grade 10 students (6.1%) and one grade 12 student (7.1%) held alternative conceptions that genes are proteins in nature [...] More 12th-graders (35.7%) than 10th-graders (18.2%) held the sophisticated conception of the gene as a productive sequence of instructions (1e) (Venville & Treagust, 1998), but most of the students in both grades conceptualised the gene as information (1e) (85.7% 12th-graders and 87.9% 10th-graders) [...] The low proportion of School 2 students (10th: 18.2%) who conceptualised the gene as a productive sequence of instructions might be because they had probably learned more about genes being information and the procedures involved in the central dogma (DNA → mRNA → protein) (4c) than about conceptual knowledge of how protein products and their central roles in mediating genetic effects in producing a trait (21a).
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Duncan & Tseng, 2011	9	Γραπτές ερωτήσεις και συνεντεύξεις	A view of genes as passive particles (1a) that are associated with traits (21a, 4a) , replicating results described by Venville and Treagust (1998) 40/105: Passive particle (1a): Genes make up our traits/features, etc (4a) 24/105: Instructions: Genes say what we will be like. Genes are like a program/map/blueprint of our traits/features, etc (1e) [...] 22/105: Active particle: Genes determine/control/command our traits (3b, 4b) [...] Prior to instruction, students tended to conceive of genes as either noninformational or as having information about entities at multiple organization levels (cells, tissues, organs, etc.) (21bx)

Πίνακας 9, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Duncan et al., 2011	7	Γραπτές ερωτήσεις (πολλαπλής επιλογής και ανοιχτού τύπου)	Genes as passive particles (1a) associated with traits (2Ia, 4b) (almost half of students tested), Genes as active particles that determine traits (4b) (20% and 30%), Genes as informational (1e) (~20%) [...] Genes as productive instructions for proteins (46%) (1e, 4c) Genes linked to proteins- genes are linked to proteins but no clear notion of genes as information i.e. genes mess up the protein (16.4%) (4c)
Ελλάδα	Γιασεμής, 2011	12	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου	το 93,5% των μαθητών συνολικά, γνωρίζουν ότι τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά μας (1e) [...] Οι μαθητές του δείγματος στην πλειονότητά τους φαίνεται να γνωρίζουν ότι το γονίδιο περιέχει την πληροφορία για ένα χαρακτηριστικό, όχι όμως και για τη σύνθεση μιας πρωτεΐνης (4b)
Ελλάδα	Κουμπάρου κ.ά., 2011	10-12	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου	οι περισσότεροι μαθητές που απαντούν (περίπου 40% και για τις δυο τάξεις) τόσο της Α' όσο και της Γ' Λυκείου δηλώνουν ότι τα γονίδια καθορίζουν (3b) τα φυσικά και πνευματικά χαρακτηριστικά του ατόμου (4b)
Αυστραλία	Donovan & Venville, 2012	5-7	Γραπτές ερωτήσεις και συνεντεύξεις	they indicated an appreciation that some particles (DNA (1c) and/or genes (1a)) are passed from parents to children , establishing relationship (usual answer) and similarity (less common answer). [...] genes are the features, Your features are your genes (i.e. deterministic belief that gene = trait), DNA is behaviour (4a) [...] Key known misconceptions: Genes are the characteristics or traits themselves (e.g. blue eyes is a gene) (1a)
Σουηδία	Gericke & Wahlberg, 2013	11	Ομαδικές συνεντεύξεις, εννοιολογικοί χάρτες (κατασκευή μαθητριών/τών)	connections between the gene concept and a specific trait related to the heredity (2Ia, 4a, 4b) aspect of genetics rather than the functional aspect

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Σουηδία	Gericke et al., 2013	11-12	Γραπτές ερωτήσεις βασισμένες σε δοσμένο κείμενο, συνεντεύξεις, ημιδομημένες ερωτήσεις ανοιχτού τύπου	Κατασκευάστηκαν υβριδικά μοντέλα
Βραζιλία	El-Hani et al., 2014	Προπτυχιακό επίπεδο	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου	At both universities, the students' commitment to the Mendelian conception , (1a) as shown by the closed questions, decreased. Classical molecular concept for students who had a genetics course (2Ia) [...] Informational conception (2Ic)) for students who did not have a genetics course The 2011 cohort mostly demonstrated a traditional view of genetics (one gene· one protein (2IIa, 4c)).
Ηνωμένο Βασίλειο	Lewis, 2014	9-11	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου και συζητήσεις σε μικρές ομάδες	Genes ~ trait (1a) [...] Hereditary traits neither caused by mutation nor influenced by environmental factors (7a) [...] students regard the traits on lower organisational levels as hereditary (4a).
Ολλανδία	Koers, 2016	11	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου, συνεντεύξεις και συζητήσεις	students answered that a gene is a sequence of instructions that code for proteins (1e, 4c). In contrast, in tier two, students reasoned that genetic information goes on to produce an observed trait (1a).
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	LeVaughn, 2016	Προπτυχιακό επίπεδο	Γραπτές ερωτήσεις (πολλαπλής επιλογής και ανοιχτού τύπου)	Students' insight into genes in the aspects of hereditary or the particulate nature indicated their naïve conception limited either to Mendelian or the classical concept that do not underlie the patterns that give rise to observable effects via molecular and cellular interactions (1a). [...] their functional explanations of genes were exclusively the centralised or the deterministic nature with inappropriate mapping of informational content of genes directly with macro-level called traits (2Ia).
Μπουτάν	Dorji, Tshering, Chettri, et al., 2017	12	Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης γενετικών εννοιών	To students, each gene is a mere particle or the hypothetical construct (1a) that determine the corresponding trait (3b, 4b) (genetic determinism) or transfer traits across the generations.

Πίνακας 9, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Μπουτάν	Dorji, Tshering, & Dorji, 2017	10	Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης γενετικών εννοιών	14/44 students 'genes are the particles that determine or transmit characters ' (1a) [...] few: 'genes are the characters' (4a) [...] 15/44 students said genes 'determine our characters' (3b, 4b) while other 5/44 pointed out ' genes make up our characters ' (1a, 4a) there was no response in the study that cued genes in terms of functional products (proteins/RNAs) and finding by nature implied students' extreme lack of a modern concept of genes that focus around the functional products, i.e proteins or RNAs. the most common view of genes was in terms of particles (active/passive/ hereditary)
Ισραήλ	Haskel-Ittah & Yarden, 2017	10	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, εννοιολογικοί χάρτες, δραστηριότητες με λογισμικό η/υ, ημιδομημένες συνεντεύξεις	In this study, we observed students' ability to explain the genetic effect of genes on the color of flowers on a specific plant, and found that only a few of them referred to proteins in their answers (4b). Instead, most students described genes as affecting the trait in a non-mechanistic way, through allelic combinations (4b). // Most students did connect gene to trait but not via proteins (1a, 4b). [...] the inability to explain the effect of genes on traits is a result of a mechanistic gap between genes and traits.
Λίβανος	Osman et al., 2017	7-12	Γραπτές ερωτήσεις και συνεντεύξεις	a majority of the interviewed students (67.8 %) recognized that the environment can affect the function of a gene (7ax)
Νιγηρία	Ahmed et al., 2018	12	Γραπτές ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής (Διαγνωστικό εργαλείο γενετικών εννοιών)	Gene functions as individual traits (4a) (male students 25%, female students 22%, no sign.diff)

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Ισραήλ	Haskel-Ittah et al., 2018	9, 12	Εννοιολογικοί χάρτες, ερωτήσεις ανοιχτού τύπου	One-third of ninth-grade students who were at the beginning of their first genetics course in school described the relationships between genes and traits in a nonmechanistic manner (4a). Among the other students, one-third held a mechanistic conception . We found almost the same proportion of nonmechanistic conceptions in a class of 12th-grade students. The nonmechanistic type of conception is that genes are synonymous to traits (4a) or that genes are trait-bearing particles , as previously reported (Lewis and Kattmann, 2004· Venville et al., 2005)
Ηνωμένο Βασίλειο	Mardiyyaningsih, 2021	Προπτυχιακό επίπεδο	Γραπτές ερωτήσεις, συνεντεύξεις	Ρητή αναφορά στα μοντέλα
Ινδονησία	Mardiyyaningsih, 2021	Προπτυχιακό επίπεδο	Γραπτές ερωτήσεις, συνεντεύξεις	Ρητή αναφορά στα μοντέλα
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Newman et al., 2021	Προπτυχιακό επίπεδο	Ημιδομημένες συνεντεύξεις, γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου	the majority of students described a gene as something that was located on chromosome (1b) or a stretch of DNA (structural) (1c). 70% of students described a gene as something that determines a trait/characteristic (phenotypic outcome· e.g., “Certain genes code for eye color or hair color.”) (1e) only 15% of students described a gene as something that codes for an RNA (4b) or protein (2Ic, 4c) (molecular process) 52% of students described gene expression as a process involving transcription and translation (4c, 5Ib). 67% of students described gene expression in terms of traits or characteristics (4b)

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Sharp et al. 2023	Προπτυχιακό επίπεδο	Γραπτές ερωτήσεις πριν και μετά την έρευνα, εργασίες σπουδαστριών/τών, μαγνητοφωνημένες και βιντεοσκοπημένες συζητήσεις σε μικρές ομάδες, συζήτηση στην τάξη	" A gene codes for a genotype (3b) which is presented in physical appearance as a phenotype (5Ia, 5IIa). A gene mutation can result in a switched up genotype or a new phenotype, and a disease can result in a larger issue depending on what it affects." [...] " Gene is a region coded that will determine the genotype (sequence) (2IIa, 3b, 5Ia, 5IIa, 6bx) and determine the physiological expression of the sequence (phenotype). " (4b) [...] " Genes code for proteins (4c) that create the phenotype of an organism." (2IIa & 2IIb, 2Icy) [...] " A gene is a sequence of DNA (1c) that codes for a protein (4c) that can be expressed phenotypically (2Icy, 3b, 6bx). [...] Disease is the result of many possible errors in the central dogma and more, including, but not limited to, mutations occurring in replication, transcription, translation, RNA processing, and mitotic or meiotic mutations. " (4d) [...] " a gene is a specific section of DNA that performs a certain function " (1c, 2IIa) mutations can alter the protein (7ax) and genes contain all the information of DNA. (1e)" [...] "Genes code for a string of amino acids which form proteins. These proteins are used to carry out biological functions... " (4c, 5Ia, 5IIa)

Σημείωση. 1-5: Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, 6-12: Δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

Πίνακας 10. Δημοσιευμένες εργασίες (N = 11) για τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη γονιδιακή και η αντιστοιχισή τους με τα ιστορικά μοντέλα της εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας του γονιδίου σύμφωνα με αποσπάσματά τους κατά τη συστηματική ανασκόπηση, σε χρονολογική σειρά.

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα	Εκπαιδευτική βαθμίδα διδασκαλίας*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Ηνωμένο Βασίλειο	Martins & Ogborn, 1997	1-5	Συνεντεύξεις, ανάγνωση επεξεργασμένου επιστημονικού κειμένου και συζήτηση ερωτήσεων	two different metaphoric models for genes used: 'genes are objects with actions come natural to it' and 'transmission of commands' (1a), the first being more frequently used.
Αυστραλία	Venville & Treagust, 1998	10	Γραπτές ερωτήσεις, μη τεχνική μέθοδος συνέντευξης, βιντεοσκόπηση ή μαγνητοφώνηση σχετικών μαθημάτων σε τάξη	Teachers: gene as a particle (1a, 1b) that moves unaltered from parent to child. Gene is associated with one feature (4a) and the presence of the trait is associated with the presence of the gene particle (2IIa).
Ισραήλ	Marbach-Ad, 2001	Εκπαιδευόμενοι σε επίπεδο κολλεγίου και πανεπιστημίου	Γραπτές ερωτήσεις, ατομικές συνεντεύξεις, εννοιολογικοί χάρτες	'a gene is a code or template for traits or proteins' (3b, 4b, 4c) [...] a predominant particulate view of the gene (1b).
Γαλλία	Forissier & Clément, 2003	Εκπαιδευόμενοι	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού τύπου	Causal relationship genotype-phenotype (4b, 5IIa)
Ηνωμένο Βασίλειο	Walker & Plomin 2005	Δάσκαλοι πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης	Γραπτές ερωτήσεις	Genetic determinism of human behaviour [...] both teachers and parents believe that both genetic and environmental factors are important (7ax), with genetics somewhat more important than environment for all of the behaviours except behaviour problems
Βιβλιογραφική επισκόπηση	Gericke & Hagberg, 2007	Εκπαιδευόμενοι σε επίπεδο κολλεγίου και πανεπιστημίου και δάσκαλοι πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης	-	students' understanding as reviewed in this paper correlates mainly to the first three models (Mendelian, Classical & Biochemical-Classical) , hence, are mostly founded in classical genetics and very similar to the scientific view of the first half of the twentieth century.
Τουρκία	Dikmenli et al. 2011	Δάσκαλοι πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού τύπου	Mendelian and Classical models

Πίνακας 10, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα	Εκπαιδευτική βαθμίδα διδασκαλίας*	Μέθοδος δειγματοληψίας	Αποσπάσματα δημοσιευμένων εργασιών ως μονάδα ανάλυσης
Σουηδία	Thörne et al. 2013	9	Παρατήρηση και καταγραφή κατά τη διάρκεια διδακτικών ακολουθιών, θεματική ανάλυση μοτίβων	Teachers do incorporate more modern views in their explanations, such as the information concept (1e) and polygeny (2IIb) , that is, they hybridize aspects from different historical models within their explanatory models. [...] Teachers do not explicitly and consistently treat genes as abstract entities, but instead mix such usage with talking about them as being located on chromosomes (1b) (as classical or realist genes) and about genes controlling traits (3b), thereby separating genes from traits (classical genes) (4b) and making them more than abstract entities that can be used to predict inheritance probabilities.
Ελβετία	Kampourakis et al. 2016	Εκπαιδευόμενοι εκπαιδευτικοί βιολογίας (κάτοχοι τουλάχιστον μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη βιολογία)	Γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού τύπου	Mendelian model: single genes cause traits (1a, 2IIa, 3b, 4a) [...] genes and DNA sequences directly determining traits (3b, 4c) with many of the explanations relying on simple Mendelian genetics
Βραζιλία	Antonelli-Ponti et al. 2018	Εκπαιδευτικοί δημόσιας και ιδιωτικής εκπαίδευσης	Γραπτές ερωτήσεις	a much greater parcel of the sample believed in gene exclusivity compared to the exclusive role of the environment (7a)
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Newman et al. 2021	Διδάκτορες Μοριακής Βιολογίας, Γενετικής και σχετικών κλάδων Βιολογίας	Ημιδομημένες συνεντεύξεις, γραπτές ερωτήσεις ανοιχτού και κλειστού τύπου	all experts described a gene as something that codes for an RNA (1c/1e, 2Ic, 3b) or protein (2Ic, 4d) (molecular process) and described gene expression as a process involving transcription and translation (2Ic, 5Ib, 4d) .

Σημείωση. 1-5: Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, 6-12: Δευτεροβάθμια εκπαίδευση

3.1.3 Καταγραφή των δεδομένων

Για τη συλλογή και καταγραφή των δεδομένων προς ανάλυση κατασκευάστηκε εσχάρα με καταγραφή πληροφοριών για κάθε δημοσιευμένη έρευνα όπως η χρονολογία της έρευνας, η χώρα διεξαγωγής της, η εκπαιδευτική βαθμίδα στην οποία φοιτούσαν ή δίδασκαν οι συμμετέχουσες/οντες, η μέθοδος δειγματοληψίας των δεδομένων και οι μονάδες ανάλυσης (Πίνακας 9 και Πίνακας 10) για εκπαιδευόμενους/ες και εκπαιδευτικούς αντίστοιχα.

3.1.4 Περιορισμοί της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης

Η διαδικασία της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης των επιλεγμένων δημοσιευμένων εργασιών παρουσίασε κάποιους περιορισμούς που αξίζει να αναφερθούν αναφορικά με το πλήθος των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που εντοπίστηκαν.

Ειδικότερα, η ποικιλία στο σκοπό και τη στόχευση της κάθε έρευνας είχε ως αποτέλεσμα να ανιχνεύονται λιγότερα, συνήθως, των εννιά επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων για κάθε μονάδα ανάλυσης και συνεπώς να καταγράφονται αποσπασματικά οι αντιλήψεις τους των μαθητριών/τών σε σχέση με τα ιστορικά μοντέλα. Αυτό εντείνεται και από τις διαφορετικές ερευνητικές μεθοδολογίες που ακολουθούνται στις μελέτες αυτές, όπως για παράδειγμα επικέντρωση στις εναλλακτικές ιδέες, παρουσίαση διδακτικών ακολουθιών όπου παρακολουθείται η πρόοδος των μαθητριών/τών πριν και μετά από μια διδακτική παρέμβαση, ή εφαρμογή διαγνωστικών εργαλείων και εργαλείων αξιολόγησης/κατανόησης γενετικών εννοιών που συνήθως περιλαμβάνουν κυρίως κλειστού τύπου απαντήσεις. Η ποικιλομορφία στη μεθοδολογία των υπό ανάλυση μελετών, οι οποίες δεν παρουσίαζαν αποκλειστικά ποιοτικά δεδομένα, αποτελεί και απόκλιση από τη μέθοδο της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης.

Ακόμα, κάποια επιστημολογικά χαρακτηριστικά δεν βρέθηκαν καθόλου, χωρίς αυτό να υποδεικνύει ότι μπορεί να μην υπάρχουν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη βιβλιογραφία. Αυτό συντελεί και στην αδυναμία της μεθόδου αυτής να παρουσιάσει την ολιστική ερμηνεία ενός φαινομένου, μαζί και με την επιφύλαξη της πιθανής ύπαρξης μελετών που δεν εντοπίστηκαν μέσω των στρατηγικών αναζήτησης, ζητήματα που φαίνεται να εμποδίζουν την καθολική συναίνεση ως προς την καταλληλότητα της και στην επιστημονική κοινότητα (Grant & Booth, 2009).

3.2 Επιλογή του ερευνητικού εργαλείου κύριας μελέτης

3.2.1 Τα προϋπάρχοντα εργαλεία

Όπως φαίνεται και από τη διεθνή επιστημονική δραστηριότητα, τα ερευνητικά εργαλεία για τη διερεύνηση των αντιλήψεων και των εναλλακτικών ιδεών των μαθητριών/τών συμπεριλαμβάνουν τις παραδοσιακές κλινικές συνεντεύξεις που ξεκίνησαν με τον Piaget (όπως αναφέρεται στο Sadler et al., 2013) για την καταγραφή των νοητικών κατασκευών των παιδιών, γραπτή αξιολόγηση με ερωτήματα ανοιχτού τύπου με τη δυνατότητα συμπερίληψης περισσότερων πληροφορητριών/τών, αλλά και, τα τελευταία χρόνια εργαλεία αξιολόγησης με ερωτήσεις κλειστού τύπου, συνήθως πολλαπλής επιλογής και που αντιθέτως με τα δύο προαναφερθέντα βασίζονται σε ποιοτική ανάλυση των δεδομένων, αλλά έχουν ταυτόχρονα και ποσοτική μορφή με αποτέλεσμα να υποστηρίζουν και μεγαλύτερο δείγμα πληροφορητριών/τών (Sadler et al., 2013).

Καθώς τα εργαλεία αυτά αξιολόγησης με ερωτήματα κλειστού τύπου έχουν αποδειχθεί αξιόπιστα στην αξιολόγηση της κατανόησης εννοιών από τις μαθήτριες/τές (Sadler et al., 2013), εξετάστηκαν αυτά που είχαν σχέση με την αξιολόγηση της γνώσης και κατανόησης εννοιών σχετικών με τη γενετική (Πίνακας 11) ώστε να ελεγχθούν για την καταλληλότητά τους σχετικά με τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας. Αποτελούνται κυρίως από εργαλεία γραπτών ερωτημάτων κλειστού τύπου, αλλά και από μαθησιακές ακολουθίες που αξιολογούν γνώσεις ή κατανόηση από τις/τους μαθήτριες/τές πριν και μετά από μία διδακτική ενότητα.

Πίνακας 11. Ερευνητικά εργαλεία που στοχεύουν στην αξιολόγηση της κατανόησης εννοιών της γενετικής

Ερευνητικά εργαλεία αξιολόγησης της κατανόησης εννοιών της γενετικής	Μελέτη	Εκπαιδευτική βαθμίδα φοίτησης	Τύπος αξιολόγησης
Genetics Literacy Assessment Instrument (GLAI)	Bowling et al. 2008	Προπτυχιακές/οί φοιτήτριες/τές	31 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής
Genetics Concept Assessment (GCA)	Smith et al. 2008	Προπτυχιακές/οί φοιτήτριες/τές	25 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής
Two-tier Genetics Concepts Test (TGCT)	Kiliç & Sağlam 2009	11	14 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 2 διαβαθμίσεων

Two-Tier Diagnostic Instrument for reasoning in Genetics	Tsui & Treagust 2010	10-12	13 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 2 διαβαθμίσεων
Public Understanding and Attitudes towards Genetics and Genomics Study (PUGGS questionnaire)	Carver et al. 2017	Ευρύ κοινό	45 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής 5-βάθμιας κλίμακας Likert
Learning Progression Assessment - Modern Genetics (LPA - MG)	Todd et al. 2017	Δευτεροβάθμια εκπαίδευση	34 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής

Σημείωση. 1-5: Πρωτοβάθμια εκπαίδευση, 6-12: Δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Η Bowling και οι συνεργάτες της (2008) ανέπτυξαν για προπτυχιακές/ούς φοιτήτριες/τές ένα ερευνητικό εργαλείο το οποίο εκτιμά το γενετικό γραμματισμό και αποτελείται από 31 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση της κατανόησης βασικών εννοιών όπως η γονιδιακή έκφραση, η γονιδιακή ρύθμιση, η γενετική και η κοινωνία κ.λπ.. Στην ίδια λογική, αυτή των κλειστών ερωτημάτων, ήταν και το εργαλείο που διαμορφώθηκε από την Smith και τους συνεργάτες της (2008), με 25 ερωτήματα που χορηγήθηκε σε φοιτήτριες/τές, το οποίο σχεδιάστηκε στο πλαίσιο επαναπρογραμματισμού των μαθημάτων γενετικής στο Πανεπιστήμιο του Κολοράντο, και συνεπώς ήθελαν να έχει τη δυναμική να μετρήσει και μαθησιακή πρόοδο.

Οι Kiliç και Sağlam (2009) ανέπτυξαν ένα ερευνητικό εργαλείο με δύο κόμβους (tier), που όπως υποστηρίζουν είναι μια προσέγγιση που διευκολύνει την άντληση πληροφοριών για την αιτιολόγηση των μαθητριών/τών, καθώς και την ερμηνεία των απαντήσεών τους. Το εργαλείο αναπτύχθηκε για να συγκεντρώσει δεδομένα σχετικά με την κατανόηση από μαθήτριες/τές της Β' Λυκείου (15-20 ετών) των θεμελιωδών εννοιών της γενετικής, όπως το DNA, το γονίδιο, το χρωμόσωμα και οι σχέσεις μεταξύ αυτών των εννοιών, καθώς και η σχέση μεταξύ των κυτταρικών διαιρέσεων και της κληρονομικότητας. Κάθε στοιχείο του τεστ αποτελούνταν από δύο ερωτήσεις, όπου η πρώτη ερώτηση είχε σχεδιαστεί για να ελέγξει τις γνώσεις των μαθητριών/τών σχετικά με τις έννοιες της γενετικής και η δεύτερη ερώτηση αναζητούσε τον λόγο για την απάντηση που έδωσαν οι μαθήτριες/τές στην πρώτη ερώτηση. (Kiliç & Sağlam, 2014). Δύο κόμβων ήταν και το ερευνητικό εργαλείο των Tsui και Treagust (2010a) στην Αυστραλία που αξιολογεί την κατανόηση των μαθητριών/τών όσον αφορά την αιτιολόγηση γενετικών φαινομένων σε διάφορα επίπεδα, η οποία αποτελεί μέρος της επιστημολογικής διάστασης της εννοιολογικής μάθησης.

Η Carver και οι συνεργάτες της (Carver et al., 2017) εντόπισαν ένα κενό που υπήρχε για ένα εργαλείο πιο προσβάσιμο σε ευρύ κοινό, μη καταρτισμένο επιστημονικά και ανέπτυξαν ένα ερωτηματολόγιο από 45 ερωτήσεις για να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ των γνώσεων των ενηλίκων σε μικρές ηλικίες για τη σύγχρονη γενετική και τη γονιδιοματική, της στάσης τους απέναντι στις γενετικές εφαρμογές και των πεποιθήσεών τους για τον γενετικό ντετερμινισμό.

Τέλος, η μαθησιακή ακολουθία των Todd και των συνεργατών της (2017), βασίστηκε σε παρελθοντική ακολουθία (Duncan et al., 2009), αναπτύχθηκε γύρω από δώδεκα μεγάλες ιδέες από τη βιβλιογραφία σχετικές με τα ζητήματα της γενετικής. Το εργαλείο χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή απαντήσεων των συμμετεχουσών/όντων πριν και μετά από μια διδασκαλία 23 εβδομάδων, έτσι ώστε να καταγραφεί η πρόοδός τους.

Παρά το ότι η θεματική όλων των διαγνωστικών εργαλείων είναι σε εγγύτητα με το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας, υπήρξαν στοιχεία τους που τα κατέστησαν ακατάλληλα για τους σκοπούς αυτής. Αρχικά, κάποια απευθύνονται σε προπτυχιακές/ούς φοιτήτριες/τές (Bowling et al., 2008· Smith et al., 2008) με αποτέλεσμα να υπάρχει αναντιστοιχία με το γνωστικό υπόβαθρο των θεμάτων γενετικής της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα. Το ερωτηματολόγιο PUGGS (Carver et al., 2017) είναι αρκετά μεγάλο σε έκταση και περιλαμβάνει ερωτήματα σχετικά με τις πεποιθήσεις των ερωτηθεισών/θέντων που είναι εκτός των σκοπών της παρουσιαζόμενης έρευνας. Όσον αφορά τα δύο διαγνωστικά εργαλεία δύο κόμβων (Kiliç & Sağlam, 2009· Tsui & Treagust, 2010b), παρά την ανάπτυξή τους για μαθήτριες/τές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, κρίθηκαν περιοριστικά, όπως και όλα τα παραπάνω, λόγω των κλειστού τύπου ερωτημάτων. Καθώς το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας, όπως έχει περιγραφεί, αφορά βασικές έννοιες όπως το «γονίδιο» και τη γονιδιακή λειτουργία εκφρασμένες τόσο αναλυτικά όπως από τα εννιά επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων (Gericke & Hagberg, 2007), η εμβάθυνση και η λεπτομέρεια που απαιτείται δεν ικανοποιείται από τα ήδη υπάρχοντα εργαλεία.

Επίσης, καθώς οι εκπαιδευτικοί που καλούνται να διδάξουν θέματα γενετικής θεωρούνται καταρτισμένοι σε αυτό το επιστημονικό πεδίο, δεν υπάρχουν διαγνωστικά εργαλεία που να στοχεύουν στην καταγραφή των απόψεών τους σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία .

Για όλα τα παραπάνω, η ημιδομημένη συνέντευξη κρίθηκε το πιο κατάλληλο εργαλείο που να ικανοποιεί τη στόχευση της παρούσας μελέτης, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ευελιξίας και εμβάθυνσης όπου είναι απαραίτητο στο αντικείμενο μελέτης, και παρέχει και

μεγαλύτερη αξιοπιστία στη συλλογή των δεδομένων καθώς οι συνεντεύξεις έχουν υψηλότερο ποσοστό ανταπόκρισης από τα γραπτά ερωτηματολόγια (Cohen et al., 2007).

Η σημασία των προφορικών συνεντεύξεων στη εκπαίδευση των φυσικών επιστημών έχει υπογραμμιστεί και από τον Wampold κ.σ. (1998), οι οποίοι υποστήριξαν πως αυτές οι προφορικές συζητήσεις με τις/τους μαθήτριες/τές είναι πολύ πιο αποτελεσματικές στη μέτρηση των αλλαγών στις δεξιότητες επιστημονικής σκέψης, σε σύγκριση με τις τυποποιημένες αξιολογήσεις. Ακόμα, τόνισαν ότι αυτή η προσέγγιση διαμορφώνει και καταγράφει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των επιστημονικών γνώσεων των μαθητριών/τών (Smith & Tanner, 2010).

3.2.2 Η ημιδομημένη συνέντευξη

Η ημιδομημένη συνέντευξη ως ερευνητικό εργαλείο συνδυάζει στοιχεία της δομημένης και της μη δομημένης συνέντευξης, αφού κατά τους Ίσαρη και Πουρκό (2015) *«η ημιδομημένη συνέντευξη εις βάθος αποτελείται από ένα σύνολο προκαθορισμένων, κατά κάποιον τρόπο, ερωτήσεων και χρησιμοποιείται συχνά από νέους ποιοτικούς μελετητές ώστε να έχουν έναν οδηγό για τα θέματα που θεωρούν ότι είναι σημαντικά να καλύψουν στο πλαίσιο της συνέντευξης.»* Η/ο ερευνήτρια/τής βασίζεται για τη διεξαγωγή της συνέντευξης σε κάποιες βασικές θεματικές ενότητες που την ενδιαφέρουν να διερευνήσει και διατυπώνει κάποιες γενικές ερωτήσεις στην/στον πληροφόρητρια/τή. Αυτή η μορφή συνέντευξης παίρνει τη μορφή μιας συζήτησης, όπου η/ο πληροφόρητρια/τής έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει τη δική της/του σκέψη, το δικό της/του λόγο, επομένως να απαντήσει με τους δικούς της/του όρους χωρίς να επηρεάζεται από σαφώς διατυπωμένες ερωτήσεις, οι οποίες συνήθως εκφράζουν τον τρόπο αντίληψης και τις εννοιολογικές κατηγορίες της/του ερευνήτριας/τή πάνω στο υπό μελέτη φαινόμενο.

Ο ρόλος της/του ερευνήτριας/τή είναι να αφήνει τη/τον συμμετέχουσα/οντα να εκφραστεί με τους δικούς της/του όρους και τρόπους, χωρίς να παρεμβαίνει ούτε και να εκφράζει ή/και να επιβάλλει εμμέσως τις δικές της/του απόψεις και ερμηνείες. Ο παρεμβατικός ρόλος της/του περιορίζεται μόνο στις περιπτώσεις όπου με κατάλληλες ερωτήσεις παρακινεί την/τον πληροφόρητρια/τή να δώσει περισσότερες πληροφορίες και να επαναφέρει κατά κάποιο τρόπο τη συζήτηση στις θεματικές στις οποίες επικεντρώνεται η έρευνα. Αυτού του είδους η συνέντευξη ως εργαλείο έχει άλλωστε οριστεί ως μια συνομιλία δύο ατόμων που ξεκινά από την/τον ερευνήτρια/τή με συγκεκριμένο σκοπό την απόκτηση πληροφοριών σχετικών με την έρευνα και εστιάζεται από αυτόν στο περιεχόμενο που καθορίζεται από τους

ερευνητικούς στόχους της συστηματικής περιγραφής, πρόβλεψης ή εξήγησης (Cohen et al., 2007).

Το κύριο πλεονέκτημα της ημιδομημένης συνέντευξης σε αντίθεση με τη δομημένη συνέντευξη είναι η ευελιξία που παρέχει στην/στον ερευνήτρια/τη ώστε να προσαρμόζει τα ερωτήματα ανάλογα με τις/τους πληροφορήτριες/τές. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί και διερεύνηση σε βάθος πιο πολύπλοκων φαινομένων, νοητικών μοντέλων των συμμετεχουσών/όντων, καθώς υπάρχει η δυνατότητα να παραχθούν περισσότερα δεδομένα, τροποποιώντας τη σειρά των ερωτημάτων ή ακόμα και προσθέτοντας και αφαιρώντας κάποια από αυτά (Ισαρη & Πουρκός, 2015).

3.2.3 Το σχέδιο της ημιδομημένης συνέντευξης

Το σχέδιο της ημιδομημένης συνέντευξης (Παράρτημα I) δομήθηκε σε τρεις βασικές κατηγορίες ερωτημάτων: α) εισαγωγικές ερωτήσεις για την κληρονομικότητα, β) ερωτήσεις για τη γενετική δομή και γ) ερωτήσεις για τις γενετικές διαδικασίες. Καθώς τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά αναπαριστούν την εννοιολογική ποικιλότητα ανάμεσα στα πολλαπλά ιστορικά μοντέλα, τα ερωτήματα είχαν ως στόχο την ανάδειξη της ποικιλότητας αυτής στις απαντήσεις των συμμετεχουσών/όντων.

Για την κατασκευή του οδηγού των ερωτημάτων συνδυάστηκε και προσαρμόστηκε το πρωτόκολλο των ημιδομημένων συνεντεύξεων των Venville και Treagust (1998) οι οποίοι διερεύνησαν την εννοιολογική αλλαγή στις αντιλήψεις μαθητριών/τών της Α' Λυκείου στην Αυστραλία μετά από ένα μάθημα γενετικής διάρκειας 10 εβδομάδων. Η Venville και ο Treagust (1998) διαχώρισαν τις τρεις αυτές κατηγορίες, καθώς ο σκοπός της έρευνάς τους συμπεριλάμβανε τον προσδιορισμό της κατάστασης της αντίληψης κάθε μαθήτριας/τή ως προς την έννοια του γονιδίου, αντίστοιχα με την παρούσα έρευνα.

Καθώς όμως το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας δομείται πάνω στα πέντε ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία (Gericke & Hagberg, 2007), λήφθηκαν υπόψιν τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά του κάθε μοντέλου, έτσι ώστε να υπάρχει αντιστοιχία των ερωτημάτων με αυτά. Σε αυτό χρησιμοποιήθηκε ως αναφορά το ερευνητικό εργαλείο του ερωτηματολογίου που κατασκεύασαν οι Gericke, Hagberg και Jorde (2013) για να μελετήσουν την ικανότητα των μαθητριών/τών να διακρίνουν την εννοιολογική ποικιλότητα και τη χρήση των πολλαπλών μοντέλων γονιδιακής λειτουργίας στα διδακτικά εγχειρίδια βιολογίας και πώς την αντιλαμβάνονται. Το ερευνητικό εργαλείο περιλάμβανε ερωτήσεις κλειστού τύπου και συγκεκριμένα πολλαπλής επιλογής με κάθε ερώτημα να αφορά

ένα επιστημολογικό χαρακτηριστικό από τα εννιά. Έτσι, κατασκευάστηκαν ερωτήματα με έναν συνδυασμό των δύο παραπάνω εργασιών έτσι ώστε να αποτελέσουν τον οδηγό της έρευνας.

3.3 Οι πληροφορήτριες/τές της έρευνας και ζητήματα δεοντολογίας

Η κυρίως έρευνα, για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση, πραγματοποιήθηκε από τον Ιανουάριο του 2020 έως και τον Ιούλιο του 2022 και συμμετείχαν 20 μαθήτριες και μαθήτριες/τές της Α' (15-16 χρόνων) και Γ' τάξης του Γενικού Λυκείου (17-18 χρόνων) από τέσσερα δημόσια και ένα ιδιωτικό σχολείο στην περιοχή της Αττικής (Πίνακας 12).

Πίνακας 12. Οι μαθήτριες/τές που συμμετείχαν στην έρευνα ($N = 21$)

Σχολείο	Αριθμός μαθητριών/τών	Βαθμίδα φοίτησης Γενικού Λυκείου
1ο Γενικό Λύκειο Καματερού	3	Γ'
1ο Γενικό Λύκειο Χαϊδαρίου	1	Γ'
5ο Γενικό Λύκειο Πετρούπολης	3	Γ'
6ο Γενικό Λύκειο Αιγάλεω	8	Γ'
Εκπαιδευτήρια Καίσαρη, Κορωπί	2	Α'
	3	Γ'

Για την επιλογή των μαθητριών/τών που θα συμμετείχαν στην έρευνα, προηγήθηκε εξέταση των αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών του μαθήματος της Βιολογίας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, ώστε να εντοπιστούν οι διδακτικές ενότητες οι οποίες αναφέρονται σε θέματα Γενετικής. Στον Πίνακας 13 φαίνονται οι ενότητες/κεφάλαια της διδακτικής ύλης που αφορούν στη Γενετική στη Γ' Γυμνασίου και στη Γ' Λυκείου, συγκεκριμένα σε μαθήτριες και μαθητές που ακολουθούν την Ομάδα Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας. Κατά τα ακαδημαϊκά έτη διεξαγωγής της έρευνας, υπήρξαν αλλαγές στη διδακτέα ύλη που όμως δεν είχαν επίπτωση στα κεφάλαια εκείνα που αφορούν θέματα Γενετικής. Για αυτό το λόγο, θεωρήθηκε δόκιμο να επιλεγθούν μαθήτριες/τές της Α' και της Γ' Λυκείου για να έχουν διδαχθεί ύλη σχετική με τη Γενετική το προηγούμενο ακαδημαϊκό έτος ή/και σε προηγούμενο χρόνο από τη διενέργεια της συνέντευξης. Καθώς οι πρώτες συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν το μήνα Ιανουάριο του 2020, που ανήκει στη πρώτο τετράμηνο φοίτησης στη Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευση, και το κεφάλαιο της Γενετικής στη Γ'

Γυμνασίου διδάσκεται συνήθως στο δεύτερο, επιλέχθηκαν πληροφορήτριες/τές της Α' Λυκείου αντί της Γ' Γυμνασίου.

Πίνακας 13. Διδακτέα ύλη για τις τάξεις της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης όπου διδάσκονται θέματα Γενετικής, για τα ακαδημαϊκά έτη διεξαγωγής της έρευνας. Με πλάγια γραφή οι διαφορές μεταξύ των ακαδημαϊκών ετών.

Ακαδημαϊκό έτος	Διδακτέα Ύλη	
	Γ' Γυμνασίου	Γ' Λυκείου (Ομάδα Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας)
2019-2020		<p><u>Από το βιβλίο 1:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Άνθρωπος και Υγεία 2. Άνθρωπος και Περιβάλλον 3. Εξέλιξη
	<p><u>Από το βιβλίο 4:</u></p> <p>5. Διατήρηση και συνέχιση της ζωής</p> <ol style="list-style-type: none"> 5.1 Το γενετικό υλικό οργανώνεται σε χρωμοσώματα 5.2 Η ροή της γενετικής πληροφορίας 5.3 Αλληλόμορφα 5.4 Κυτταρική διαίρεση 5.5 Κληρονομικότητα 5.6 Μεταλλάξεις 	<p><u>Από το βιβλίο 2:</u></p> <p>Κεφάλαιο 4. Γενετική</p> <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Κύκλος ζωής του κυττάρου 4.3 Κυτταρική διαίρεση <p><u>Από το βιβλίο 3:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Το γενετικό υλικό 2. Αντιγραφή, έκφραση και ρύθμιση της γενετικής πληροφορίας 4. Τεχνολογία του ανασυνδυασμένου DNA 5. Μενδελική κληρονομικότητα 6. Μεταλλάξεις 7. Αρχές και μεθοδολογία της Βιοτεχνολογίας 8. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στην Ιατρική 9. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στη γεωργία και την κτηνοτροφία

2020-2021

Από το βιβλίο 4:

5. Διατήρηση και συνέχιση της ζωής

- 5.1 Το γενετικό υλικό οργανώνεται σε χρωμοσώματα
- 5.2 Η ροή της γενετικής πληροφορίας
- 5.3 Αλληλόμορφα
- 5.4 Κυτταρική διαίρεση
- 5.5 Κληρονομικότητα
- 5.6 Μεταλλάξεις

Από το βιβλίο 2:

Κεφάλαιο 4. Γενετική

- 4.1 Κύκλος ζωής του κυττάρου
- 4.3 Κυτταρική διαίρεση

Από το βιβλίο 3:

- 1. Το γενετικό υλικό
- 2. Αντιγραφή, έκφραση και ρύθμιση της γενετικής πληροφορίας
- 4. Τεχνολογία του ανασυνδυσμένου DNA
- 5. Μενδελική κληρονομικότητα
- 6. Μεταλλάξεις
- 7. Αρχές και μεθοδολογία της Βιοτεχνολογίας
- 8. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στην Ιατρική
- 9. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στη γεωργία και την κτηνοτροφία
- 10. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στη βιομηχανία (εκτός από τις ενότητες "Παραγωγή τυριού", "Ένζυμα και απορρυπαντικά", "Βιομεταλλουργία")

Από το βιβλίο 4:

5. Διατήρηση και συνέχιση της ζωής

- 5.1 Το γενετικό υλικό οργανώνεται σε χρωμοσώματα
- 5.2 Η ροή της γενετικής πληροφορίας
- 5.3 Αλληλόμορφα
- 5.4 Κυτταρική διαίρεση
- 5.5 Κληρονομικότητα
- 5.6 Μεταλλάξεις

Από το βιβλίο 2:

Κεφάλαιο 1. Χημική σύσταση του κυττάρου

1.2 Μακρομόρια, μόνο η υποπαράγραφος:

- «Πρωτεΐνες: Διαδεδομένες, πολύπλοκες και εύθραυστες»

Κεφάλαιο 2. Κυτταρο: Η θεμελιώδης μονάδα ζωής

Εισαγωγή «Μια από τις επιδιώξεις των φυσικών επιστημών ... προϋπήρξαν των ευκαρυωτικών»

2.3 Μια περιήγηση στο εσωτερικό του κυττάρου, μόνο οι υποπαράγραφοι:

- «Πυρήνας»
- «Ενδομεμβρανικό σύστημα», μόνο το απόσπασμα «Το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο φέρει στην εξωτερική επιφάνεια ... πρωτεΐνες που τους είναι απαραίτητες», το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο «Ενδοπλασματικό δίκτυο».
- «Χλωροπλάστες και Μιτοχόνδρια - Οι μετατροπείς ενέργειας των κυττάρων»

Κεφάλαιο 3. Μεταβολισμός

3.2 Ένζυμα και Βιολογικοί Καταλύτες, μόνο οι υποπαράγραφοι:

- «Μηχανισμός δράσης των ενζύμων»
- «Ιδιότητες των ενζύμων»

Κεφάλαιο 4. Γενετική

4.1 Κύκλος ζωής του κυττάρου

4.3 Κυτταρική διαίρεση

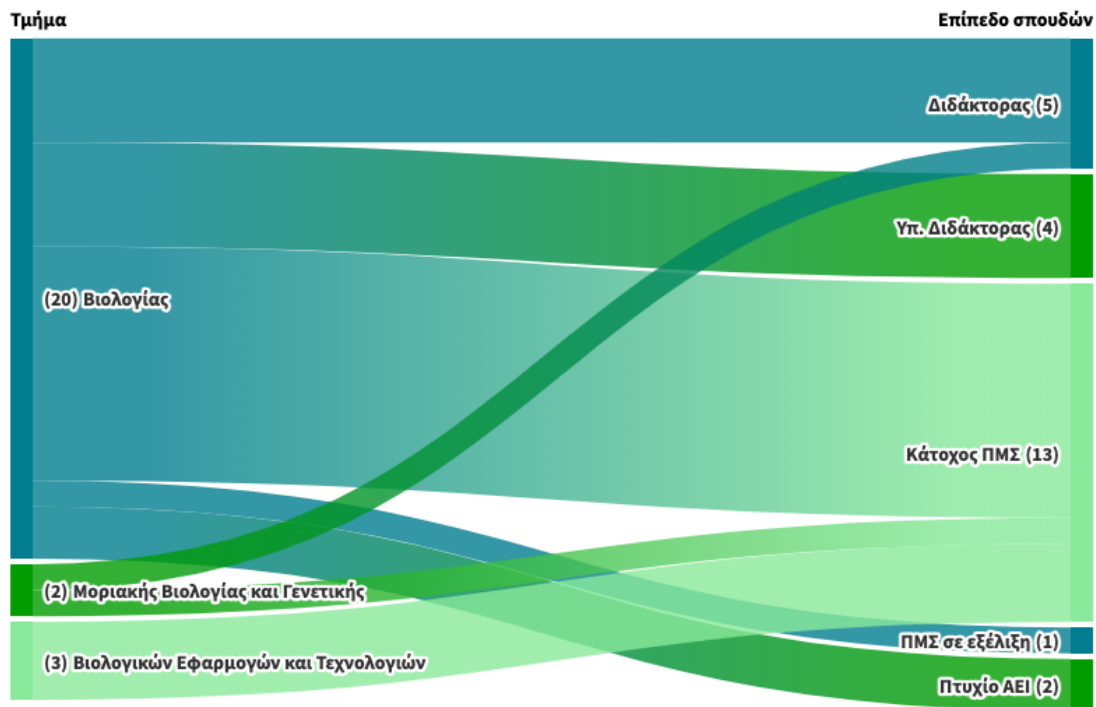
Από το βιβλίο 3:

- 1. Το γενετικό υλικό
- 2. Αντιγραφή, έκφραση και ρύθμιση της γενετικής πληροφορίας
- 4. Τεχνολογία του ανασυνδυασμένου DNA
- 5. Μενδελική κληρονομικότητα
- 6. Μεταλλάξεις
- 7. Αρχές και μεθοδολογία της Βιοτεχνολογίας
- 8. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στην Ιατρική
- 9. Εφαρμογές της Βιοτεχνολογίας στη γεωργία και την κτηνοτροφία

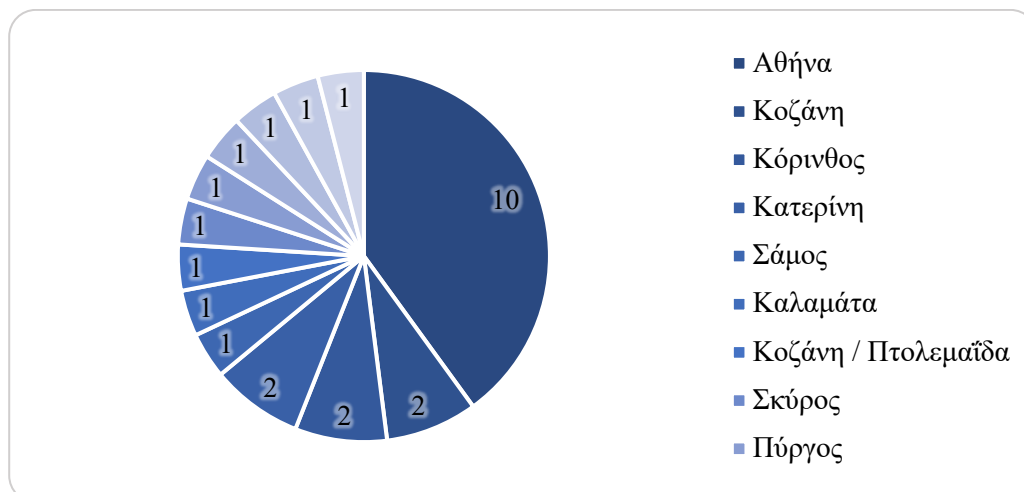
Βιβλία:

1. Βιολογία Β' Γενικού Λυκείου – (Αδαμαντιάδου, Γεωργάτου, Γιαπιτζάκης & Λάκκα, 2013), όπως αυτό αναμορφώθηκε από την κ. Καλαϊτζιδάκη και τον κ. Πανταζίδη.
2. Βιολογία Γ' Γενικού Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας – Τεύχος Α' – (Καψάλης, Μπουρμπουχάκης, Περάκη, Σαλαμαστράκης, 2013)
3. Βιολογία Γ' Γενικού Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας – Τεύχος Β' – (Αλεπόρου-Μαρινού, Αργυροκαστρίτης, Κομητοπούλου, Πιαλόγλου, & Σγουρίτσα, 2013).
4. Βιολογία Β' και Γ' Γυμνασίου – (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2017)

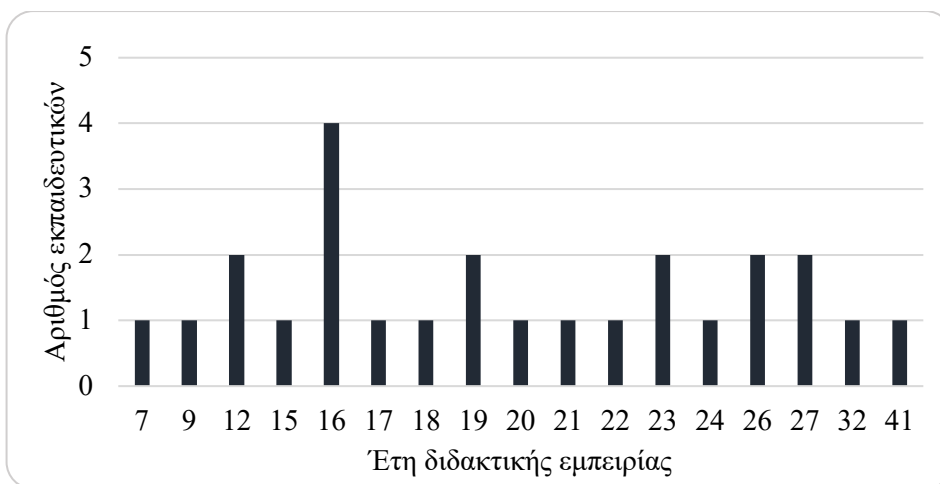
Ακόμα, στην έρευνα συμμετείχαν 25 Βιολόγοι εκπαιδευτικοί της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης με διαφορετικό προφίλ προπτυχιακών και μεταπτυχιακών σπουδών (Γράφημα 1), από ποικίλες τοποθεσίες (Γράφημα 2) και με εκπαιδευτική προϋπηρεσία ετών σε εύρος 7-41 ετών (Γράφημα 3) σε Γυμνασιακές και Λυκειακές τάξεις.



Γράφημα 1. Χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών που συμμετείχαν στην έρευνα ($N = 25$). (ΠΜΣ: Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών)



Γράφημα 2. Τρέχουσα τοποθεσία εκπαιδευτικών ($N = 25$) κατά την περίοδο διενέργειας της έρευνας.



Γράφημα 3. Αριθμός εκπαιδευτικών ($N = 25$) ανά έτη διδακτικής εμπειρίας.

Η διαφοροποίηση στην επιλογή των μαθητριών/τών σε σχέση με τα σχολεία και αυτή των εκπαιδευτικών με διαφορετικό διδακτικό και επιστημονικό υπόβαθρο σχεδιάστηκε στο πλαίσιο της στρατηγικής δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε, συγκεκριμένα αυτή της θεωρητικής δειγματοληψίας που ανέπτυξαν οι Glaser και Strauss (1967), και έχει ως στόχο τον εμπλουτισμό των δεδομένων και την παράλληλη ανάλυσή τους κατά τη διεξαγωγή της έρευνας. Η στρατηγική αυτή διαμορφώθηκε από τους Glaser και Strauss στο πλαίσιο της Θεμελιωμένης Θεωρίας (Grounded Theory) και δηλώνουν πως «... η διαδικασία συλλογής δεδομένων για τη δημιουργία θεωρίας, κατά την οποία ο αναλυτής συλλέγει, κωδικοποιεί και αναλύει ταυτόχρονα τα δεδομένα του, και αποφασίζει τί δεδομένα θα συλλέξει στη συνέχεια και πού θα τα βρει, προκειμένου να αναπτύξει την αναδυόμενη θεωρία του. Αυτή η διαδικασία συλλογής δεδομένων ελέγχεται από την αναδυόμενη θεωρία.» (Glaser & Strauss, 1967). Καθώς στόχο της στρατηγικής αυτής αποτελεί η μέγιστη δυνατή πληροφόρηση σχετικά με το αντικείμενο της έρευνας, ο αριθμός των πληροφορητριών/τών και των δύο κατηγοριών καθορίστηκε κατά την πορεία της έρευνας από τα αποτελέσματα που προκύπταν από την ανάλυση των συνεντεύξεων.

Η ολοκλήρωση των συνεντεύξεων ορίστηκε με βάση τον θεωρητικό κορεσμό που αποτελεί το κριτήριο λήξης της θεωρητικής δειγματοληψίας και σηματοδοτεί το σημείο της έρευνας στο οποίο δεν προκύπτουν καινούριες πληροφορίες από τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων και άρα τον τερματισμό της διαδικασίας (Ισαρη & Πουρκός, 2015· Τσιώλης, 2015).

Η συμμετοχή του συνόλου των πληροφορητριών/τών στην έρευνα ήταν εθελοντική, μετά από ενημέρωσή τους για την έρευνα και οι συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν μετά από συμπλήρωση και υπογραφή ενημερωτικού έντυπου που συμπεριλάμβανε φόρμα

συγκατάθεσης (Παράρτημα II) των γονέων/κηδεμόνων των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών αντίστοιχα για τη συμμετοχή τους σε αυτή. Επιπλέον, καθώς η μαγνητοφώνηση των συνεντεύξεων είναι απαραίτητη για την ανάλυση των δεδομένων, βεβαιώθηκε η διασφάλιση της ανωνυμίας για κάθε πληροφορήτρια/τη με τη δέσμευση του χειρισμού των δεδομένων με πλήρη εμπιστευτικότητα για όλες τις πληροφορίες που θα αποκτηθούν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας και οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην ταυτοποίηση των συμμετεχουσών/όντων.

3.4 Πιλοτικές συνεντεύξεις

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της καταλληλότητας του ερευνητικού εργαλείου διενεργήθηκαν πέντε πιλοτικές συνεντεύξεις με μαθήτριες/τές, καθώς και με δύο Βιολόγους εκπαιδευτικούς ώστε να δοκιμαστεί ο οδηγός της ημιδομημένης συνέντευξης (Παράρτημα I), και να αξιολογηθεί σε σχέση με τον σκοπό της έρευνας, συγκεκριμένα την ανίχνευση των αντιλήψεων μαθητριών/τών και μαθητριών και εκπαιδευτικών σε σχέση με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.

Η διενέργεια των πιλοτικών συνεντεύξεων τριών μαθητριών/τών της Γ' και δύο της Α' Λυκείου που είχαν δηλώσει ενδιαφέρον για συμμετοχή στην έρευνα, πραγματοποιήθηκε στα Εκπαιδευτήρια Καίσαρη τον Ιανουάριο του 2020, μετά από συνεννόηση με τη διευθύντρια του Σχολείου και τον Βιολόγο εκπαιδευτικό και μετά την ενυπόγραφη συγκατάθεση των γονέων/κηδεμόνων τους. Οι συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν σε αίθουσα διδασκαλίας του Σχολείου οικεία στις/στους συμμετέχουσες/οντες που παραχωρήθηκε στην ερευνήτρια για τον σκοπό αυτό, σε χρόνο που δεν παρεμβαλλόταν στην εύρυθμη λειτουργία των μαθημάτων, παρουσία μόνο της/του μαθήτριας/τή και της ερευνήτριας. Οι συνεντεύξεις διήρκεσαν 8-18 λεπτά, μαγνητοφωνήθηκαν και στη συνέχεια αναλύθηκαν ώστε να ανιχνευτούν στον λόγο τους τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία.

Όσον αφορά τις πιλοτικές συνεντεύξεις των δύο Βιολόγων εκπαιδευτικών, διήρκεσαν 12-13 λεπτά και αυτές διεξήχθησαν μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Skype, ως συνέπεια εν μέρει των περιοριστικών μέτρων που εφαρμόστηκαν από τον Μάρτιο του 2020 λόγω της πανδημίας COVID-19, αλλά και τη μακρινή από την ερευνήτρια τοποθεσία των πληροφορητριών/τών. Η διαδικασία διενέργειας της συνέντευξης παρέμεινε η ίδια.

Η αρχική φάση αυτής της πιλοτικής ποιοτικής έρευνας ανέδειξε τα ζητούμενα αποτελέσματα που αφορούν στην ανίχνευση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη λειτουργία του. Παράλληλα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων υπέδειξαν την αναγκαιότητα διεύρυνσης της ποιοτικής έρευνας, με σκοπό τον εμπλουτισμό των ευρημάτων, και κατά συνέπεια και του συνόλου των επιστημολογικών χαρακτηριστικών. Ακόμα, κρίθηκε απαραίτητη η ανίχνευση όσο το δυνατό των μοναδικών χαρακτηριστικών των μοντέλων, καθώς αυτά αποτελούν εύκολα αναγνωρίσιμα στοιχεία των μοντέλων, χαρακτηριστικό καίριο για τη διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στην επόμενη φάση της έρευνας.

Αναφορικά με τις/τους πληροφορήτριες/τές των συνεντεύξεων, οι μονάδες ανάλυσης των μαθητριών της Γ΄ Λυκείου και των εκπαιδευτικών παρείχαν περισσότερη λεπτομέρεια στην πληροφορία που παρείχαν, γεγονός που είναι αναμενόμενο και με βάση το τρέχον αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών για τη γενετική στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, που περιορίζεται κυρίως στο μάθημα της Βιολογίας για την Ομάδα Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας. Στη μικρή παρουσία θεμάτων Γενετικής στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση, προστίθεται και η μικρή παρουσία του σύγχρονου μοντέλου για το γονίδιο (Christidou & Papadopoulou, 2020), προσανατολίζοντας τη στόχευση της κύριας μελέτης στις μεγαλύτερες ηλικίες του Λυκείου και στις/στους εκπαιδευτικούς.

3.5 Κύρια μελέτη

Στην κύρια μελέτη, η οποία πραγματοποιήθηκε από το Νοέμβριο του 2020 έως και τον Ιούλιο του 2022, συμμετείχαν συνολικά 18 μαθήτριες και μαθητές της Γ΄ Λυκείου. Οι συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν κυρίως μέσω των διαδικτυακών πλατφορμών τηλεδιάσκεψης Zoom και Skype καθώς, όπως προαναφέρθηκε, κατά τα σχολικά έτη 2020-2021 και 2021-2022 εφαρμόστηκαν περιοριστικά μέτρα πρόληψης λόγω της πανδημίας COVID-19 με αποτέλεσμα το κλείσιμο των σχολικών μονάδων για μεγάλα χρονικά διαστήματα μηνών, Μάρτιο έως Απρίλιο 2020 και Νοέμβριο του 2021 με Ιανουάριο του 2022 αντίστοιχα. Τρεις συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν σε χώρους του σχολείου, πάντα σε συνεννόηση με τη διεύθυνση του σχολείου, σε αίθουσα παραχωρημένη στην ερευνήτρια για αυτόν τον σκοπό. Ίσχυσαν οι διαδικαστικές – δεοντολογικές επιλογές, όπως αυτές έχουν ήδη περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα. Η επιλογή των πληροφορητριών/τών έγινε με τη διαδικασία που έχει περιγραφεί στην αντίστοιχη ενότητα.

Αντίστοιχα, η κύρια μελέτη που αφορούσε τους εκπαιδευτικούς, είχε διάρκεια από το Σεπτέμβριο του 2020 έως τον Ιούνιο του 2022, όπου συμμετείχαν εκπαιδευτικοί με ποικίλα προφίλ επιστημονικής κατάρτισης (Γράφημα 1), αλλά και εκπαιδευτική προϋπηρεσία από 7 έως 41 έτη (Γράφημα 3), που υπηρετούσαν σχολεία σε διαφορετικά μέρη ανά την Ελλάδα (Γράφημα 2). Ίσχυσαν οι διαδικαστικές – δεοντολογικές επιλογές, όπως αυτές έχουν ήδη περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα. Η επιλογή των πληροφορητριών/τών έγινε με τη διαδικασία που έχει περιγραφεί στην αντίστοιχη ενότητα.

3.6 Ανάλυση δεδομένων

Η προσέγγιση ανάλυσης των ποιοτικών δεδομένων που ακολουθείται στην παρούσα μελέτη εμπίπτει στην παραγωγική (deductive) διαδικασία ανάλυσης, κατά την οποία «η κωδικοποίηση καθοδηγείται από τη θεωρία (*theory-driven data coding*) και ακολουθείται η «από επάνω προς τα κάτω» (*top-down*) κατεύθυνση» (Τσιώλης, 2015). Χρησιμοποιούνται, δηλαδή, ως ταξινομικές φόρμες για την οργάνωση των προς ανάλυση δεδομένων προεπιλεγμένες κατηγορίες, στην προκειμένη περίπτωση τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά με τις μεταβλητές τους, που περιγράφουν τα πέντε ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Καθώς η δειγματοληπτική στρατηγική είχε χαρακτήρα θεωρητικής δειγματοληψίας, η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα με τη συλλογή δεδομένων.

3.6.1 Μεταγραφή των συνεντεύξεων

Οι συνεντεύξεις απομαγνητοφωνήθηκαν από την ερευνήτρια με προσπάθεια απόδοσης του προφορικού λόγου με κάθε δυνατή λεπτομέρεια. Το σύστημα σημειογραφίας που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια να αποτυπώσει πιστά τον προφορικό λόγο και κάποιες χαρακτηριστικές παραγλωσσικές εκδηλώσεις, όπως γέλιο, έντονο τονισμό και μεγάλες παύσεις, όπως φαίνεται στο Παράρτημα III.

3.6.2 Θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης

Το θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης πλαισιώθηκε από τα πέντε ιστορικά μοντέλα (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό και σύγχρονο) για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία όπως αυτά αναπτύχθηκαν από τον Gericke και την Hagberg (2007). Ακολουθώντας τη στοχοθεσία και τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας έρευνας, η ανίχνευση επιστημολογικών χαρακτηριστικών των μοντέλων αυτών, καθώς και η κατηγοριοποίηση των

αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σύμφωνα με αυτά στα αντίστοιχα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία, οδήγησε τη διαμόρφωση της αναλυτικής διαδικασίας.

Η ποιοτική έρευνα περιλαμβάνει πολλές μεθόδους και στρατηγικές που έχουν περιγραφεί και χρησιμοποιηθεί σε διάφορα επιστημονικά πεδία ανάμεσα σε αυτά και της ψυχολογίας, των κοινωνικών επιστημών και της εκπαιδευτικής έρευνας (Ισαρη & Πουρκός, 2015) και ακολούθως, και πολλές προσεγγίσεις ανάλυσης των ποιοτικών δεδομένων που προκύπτουν από αυτή, όπως η θεματική ανάλυση, η ανάλυση περιεχομένου και η εμπειρικά θεμελιωμένη θεωρία (Τσιώλης, 2015). Κατά τις Braun και Clarke (2006), οι προσεγγίσεις αυτές της ανάλυσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες σχετικά με τη δέσμευσή τους σε συγκεκριμένες θεωρητικές ή επιστημολογικές ως αφετηρία.

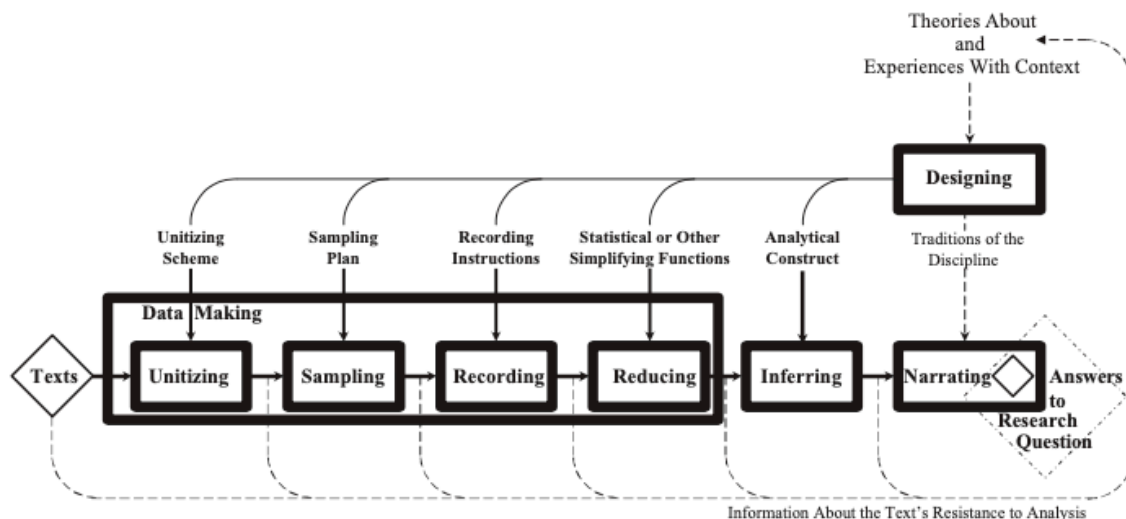
Αυτή η διαφοροποίηση αποτέλεσε τη βασική παραδοχή στο σχεδιασμό της αναλυτικής διαδικασίας της παρούσας έρευνας, η οποία καθοδηγήθηκε από τη θεωρία (theory-driven data coding) και ακολουθήθηκε η «από επάνω προς τα κάτω» (top-down) κατεύθυνση, που χαρακτηρίζεται ως παραγωγική (deductive) και είναι στοιχείο της ανάλυσης περιεχομένου (Braun & Clarke, 2006). Κατά την παραγωγική διαδικασία ανάλυσης τα δεδομένα κωδικοποιούνται και ερμηνεύονται βάσει μιας σειράς προεπιλεγμένων εννοιολογικών σχημάτων, κατηγοριών ή θεμάτων που λειτουργούν ως ταξινομικές φόρμες για την οργάνωσή τους, οπότε υιοθετείται στο πλαίσιο της ανάλυσης περιεχομένου, αλλά και της θεματικής ανάλυσης (Τσιώλης, 2015). Η επιστημολογική αυτή πλαισίωση της ανάλυσης δεν παρέχει την ευελιξία της επαγωγικής από «κάτω προς τα επάνω» (bottom-up) προσέγγιση όπως είναι η Εμπειρικά Θεμελιωμένη Θεωρία των Glaser και Strauss (1967) όπου αναδύονται οι θεωρητικές κατηγορίες και διαμορφώνεται η διατύπωση του θεωρητικού πλαισίου κατά τη διάρκεια της έρευνας και έχει επικριθεί για το γεγονός ότι η θεωρητική πλαισίωση προηγείται της εμπειρικής έρευνας, και επομένως, η έρευνα περιορίζεται στην επικύρωση της θεωρίας και όχι στην ανακάλυψη (Τσιώλης, 2015).

Στην παρούσα έρευνα η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της ανάλυσης περιεχομένου, που κατά τον Krippendorff (2019) έχει εξελιχθεί σε ένα ρεπερτόριο ερευνητικών μεθόδων που υπόσχονται να αποδώσουν συμπεράσματα από όλα τα είδη λεκτικών, εικονογραφικών, συμβολικών και επικοινωνιακών δεδομένων. Ο σχεδιασμός της μεθόδου άντλησε στοιχεία από τη διαδικασία της ανάλυσης των Gericke και Hagberg (2010b) για τη διερεύνηση την εννοιολογικής ποικιλότητας της γονιδιακής λειτουργίας σε σχολικά εγχειρίδια ως θεωρητικό πλαίσιο. Οι ερευνητές τροποποίησαν το ερευνητικό εργαλείο, όπως παραδοσιακά εφαρμόζεται ως εννοιολογική ανάλυση κατά την οποία η παρουσία μιας

επιλεγμένης έννοιας ποσοτικοποιείται και καταμετράται κατά τους Palmquist κ.ά. (1997), ώστε να αναλύσουν τις διαφορετικές σημασίες εννοιών. Δηλαδή, τη σημασία, τα νοήματα που αποκτούν οι έννοιες από το γεγονός ότι αποτελούν στοιχειώδη δομικά στοιχεία ενός μοντέλου, στη συγκεκριμένη περίπτωση των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό και σύγχρονο), συμπεριλαμβανομένων και των επιπλέον επιστημολογικών χαρακτηριστικών όπως αυτά προέκυψαν μετά από αντίστοιχες έρευνες ανάλυσης σχολικών εγχειριδίων (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012) όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.

Τα έξι στοιχεία της διαδικασίας της ανάλυσης περιεχόμενου κατά τον Krippendorff (2019) είναι τα εξής όχι αυστηρά σε αυτή τη γραμμική σειρά (Εικόνα 2):

1. ο ορισμός μονάδων δειγματοληψίας (sampling units), καταγραφής/κωδικοποίησης (recording/coding units) ή μονάδες πλαισίου (context units) (unitizing),
2. η δειγματοληψία (sampling),
3. η καταγραφή / κωδικοποίηση (recording / coding),
4. μείωση των δεδομένων σε διαχειρίσιμες αναπαραστάσεις (reducing data to manageable representations),
5. επαγωγική εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα φαινόμενα εντός του πλαισίου (abductively inferring contextual phenomena) και
6. αφήγηση της απάντησης στο ερευνητικό ερώτημα (narrating the answer to the research question),



Εικόνα 2. Συνιστώσες της ανάλυσης περιεχομένου κατά τον Krippendorff (2019).

3.6.3 Διαδικασία ανάλυσης

3.6.3.1 Ορισμός μονάδων δειγματοληψίας, καταγραφής/κωδικοποίησης και πλαισίου

Όσον αφορά τις μονάδες δειγματοληψίας αυτές ορίστηκαν ως οι μαθήτρες/τές και οι εκπαιδευτικοί για τα δύο σκέλη της κύριας έρευνας, καθώς οι απομαγνητοφωνήσεις των συνεντεύξεών τους παρείχαν όλες τις σχετικές πληροφορίες που χρειαζόνταν για την απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα.

Στον ορισμό των μονάδων πλαισίου η παρούσα έρευνα διαφοροποιείται από την περιγραφή της ανάλυσης περιεχομένου του Krippendorff (2019), καθώς η παραγωγική από «πάνω προς τα κάτω» φύση της αναλυτικής διαδικασίας προϋποθέτει έτοιμες κατηγορίες για την ανάλυση δεδομένων, στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό και σύγχρονο), συμπεριλαμβανομένων και των επιπλέον επιστημολογικών χαρακτηριστικών όπως αυτά προέκυψαν μετά από αντίστοιχες έρευνες ανάλυσης σχολικών εγχειριδίων (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012). Αυτές είναι που οριοθετούν το εύρος των πληροφοριών που πρέπει να συμβουλευτούν οι κωδικοποιητές για τον χαρακτηρισμό των μονάδων καταγραφής.

Οι μονάδες καταγραφής/κωδικοποίησης είναι μονάδες περιγραφής που φέρουν συλλογικά τις πληροφορίες που επεξεργάζονται οι αναλυτές περιεχομένου και παρέχουν τη βάση για στατιστικούς λογαριασμούς (Krippendorff, 2019). Ο διαχωρισμός των μονάδων αυτών πραγματοποιήθηκε σε αντιστοιχία με το πλαίσιο που ακολούθησαν οι Gericke και

Hagberg (2010b), για την έρευνα των οποίων μονάδες ανάλυσης αποτελούσαν κεφάλαια των διδακτικών εγχειριδίων. Στην παρούσα έρευνα, μονάδες ανάλυσης θεωρήθηκαν αποσπάσματα του λόγου των πληροφορητριών/τών, τα οποία περιείχαν ένα ολοκληρωμένο νόημα σε σχέση με τη γονιδιακή λειτουργία. Συνήθως συνέπιπτε με μία απάντηση της/του ερωτώμενης/ου από την ερευνήτρια. Καθώς το ερευνητικό εργαλείο τη μελέτης ήταν η ημιδομημένη συνέντευξη, ωστόσο, υπήρχαν περιπτώσεις όπου παρεμβάλλονταν η παρακίνηση της ερευνήτριας για συνέχιση της σκέψης των πληροφορητριών/τών ή κάποια διευκρινιστική ερώτησή της, οπότε τότε η μονάδα ανάλυσης συμπεριλάμβανε τον συνδυασμό των δύο ή παραπάνω διακριτών απαντήσεων των ερωτώμενων, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα της μαθήτριας 2. Με την παρεμβολή της ερευνήτριας η μαθήτρια 2 συνέχισε τη σκέψη της περιγράφοντας την τοποθεσία του γονιδίου και έτσι οι δύο διακριτές απαντήσεις της λογίστηκαν ως συνέχεια και άρα ως μία μονάδα ανάλυσης.

Ερευνήτρια: Πού βρίσκεται το γονίδιο·

Μαθήτρια 2: Βρίσκεται στις αλληλουχίες του DNA.

Ερ: Οι οποίες βρίσκονται·

Μαθήτρια 2: Είναι χρωμοσώματα και βρίσκονται στον πυρήνα ενός κυττάρου, κάθε κυττάρου.

3.6.3.2 Επιλογή συμμετεχουσών/όντων

Όπως έχει περιγραφεί παραπάνω, στην παράθεση της στρατηγικής της θεωρητικής δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε, το κριτήριο για τον τερματισμό της δειγματοληψίας ορίστηκε ως ο «θεωρητικός κορεσμός» της νέας πληροφορίας όπως έχει περιγραφεί από τους Glaser και Strauss στην Εμπειρικά Θεμελιωμένη Θεωρία τους (1967). Όπως το μεταφέρουν και οι Ίσαρη και Πουρκός (2015) «η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν δεν προκύπτουν πλέον νέες κατηγορίες ή στοιχεία που θα μπορούσαν να μετασχηματίσουν τις ήδη υπάρχουσες, προσθέτοντας νέες ιδιότητες ή διαστάσεις. Με άλλα λόγια, όταν η συλλογή και η ανάλυση των δεδομένων δεν προσφέρει πλέον κάτι καινούριο». Όσο η διαδικασία της δειγματοληψίας και ανάλυσης προχωράει, υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο να προκύψουν νέα δεδομένα τα οποία προσφέρουν στην υπό διαμόρφωση θεωρία ή ενός αναδυόμενου μοτίβου ή θέματος.

Στην παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε αρχικά κύκλος πέντε πιλοτικών συνεντεύξεων με μαθήτριες/τές Α' και Γ' Λυκείου, οι οποίες απομαγνητοφωνήθηκαν και στη

συνέχεια αναλύθηκαν με τη μέθοδο που περιγράφεται στη συνέχεια. Ακολούθως, συνεχίστηκε η συλλογή δεδομένων πραγματοποιώντας συνεντεύξεις σε διαφορετικά σχολεία, ενώ συνεχίστηκε η φάση της ανάλυσης των δεδομένων, έως τις τελευταίες συνεντεύξεις. Σε αυτές τις τελευταίες συνεντεύξεις, δεν εμφανίστηκαν νέα δεδομένα κατά την ανάλυση των απομαγνητοφωνήσεών τους, ώστε να εμπλουτιστούν τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που αναδύονταν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των εκπαιδευτικών ακολουθήθηκε ή ίδια διαδικασία. Καθώς η επικοινωνία με τις/τους εκπαιδευτικούς ήταν πιο άμεση και εύκολη, το δείγμα ήταν ποικίλο σε τύπους υπηρεσίας, διδακτική εμπειρία, τμήμα απόκτησης πτυχίου, ενισχύοντας έτσι τον πληροφοριακό κορεσμό.

3.6.3.3 Καταγραφή / κωδικοποίηση

Η διαδικασία της κωδικοποίησης και ανάλυσης των δεδομένων βασίστηκε στα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανέπτυξαν οι Gericke και Hagberg (2007) (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό και σύγχρονο), συμπεριλαμβανομένων και των επιπλέον επιστημολογικών χαρακτηριστικών όπως αυτά προέκυψαν μετά από αντίστοιχες έρευνες ανάλυσης σχολικών εγχειριδίων (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012) όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.

Σε κάθε μονάδα ανάλυσης γινόταν προσπάθεια εντοπισμού και των εννιά επιστημολογικών χαρακτηριστικών, όπου αυτό ήταν εφικτό, μέσω της εκπροσώπησής τους από τις μεταβλητές τους. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αντιστοίχιση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που βρέθηκαν, με τα ιστορικά μοντέλα (Πίνακας 3), έτσι ώστε να γίνει η κατηγοριοποίηση των αντιλήψεων σύμφωνα με τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Στην περίπτωση που επιστημολογικά χαρακτηριστικά από διαφορετικά ιστορικά μοντέλα συνυπήρχαν στις αντιλήψεις που περιγράφονταν σε μία μονάδα ανάλυσης και αντιμετωπίζονταν σαν να αποτελούσαν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο (Justi & Gilbert, 1999), τότε το μοντέλο χαρακτηριζόταν ως υβριδικό, ακολουθώντας τον τρόπο με τον οποίο οι Gericke και Hagberg (2010a) βάσισαν τη μεθοδό τους για τον καθορισμό των μοντέλων σε αυτή που περιγράφεται από τους Justi και Gilbert (2000).

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται δύο μονάδες ανάλυσης, μία από τη συνέντευξη της μαθήτριας 2 και μία από αυτή του εκπαιδευτικού 1, όπου φαίνεται η κωδικοποίησή τους με τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά, και τα μοντέλα στα οποία ανήκει το καθένα από αυτά.

Πίνακας 14. Απόσπασμα λόγου συνεντεύξεων των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών και η αντιστοίχιση των μονάδων ανάλυσης με τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη λειτουργία του. Με έντονη γραφή δηλώνονται τα σημεία με λέξεις-κλειδιά που αποδόθηκαν στα επιστημολογικά χαρακτηριστικά.

Μονάδα ανάλυσης	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά	Μοντέλο/α
Μαθήτρια 2: «Η αλληλουχία του DNA, ουσιαστικά το χρωμόσωμα είναι αλληλουχίες DNA οι οποίες όταν..εε..μεταγραφούν και μεταφραστούν..εε..κάποια τμήματα του DNA, όχι όλο το DNA..εε..θα εκφραστεί είτε φαινοτυπικά , βασικά φαινοτυπικά .»	1c	Το γονίδιο είναι ένα τμήμα DNA. νεοκλασικό
	2Ibx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο-, κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο. μη ιστορικό επιστημολογικό χαρακτηριστικό
	2II	- -
	3b	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up). βιοχημικό-κλασικό/νεοκλασικό
	4e	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου, με χρωμοσωμική εξήγηση. κλασικό
	5Ia	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι ιδεαλιστικές. Μεντελικό /κλασικό/βιοχημικό-κλασικό
	5IIa	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι αιτιακές και μηχανιστικές. Μεντελικό /κλασικό/βιοχημικό-κλασικό/νεοκλασικό
	6bx	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο-επίπεδο στο μοριακό επίπεδο. μη ιστορικό επιστημολογικό χαρακτηριστικό
	7a	Δε συμπεριλαμβάνονται περιβαλλοντικά στοιχεία. Μεντελικό /κλασικό/βιοχημικό-κλασικό
Εκπαιδευτικός 1: «Γονίδιο είναι η ελάχιστη μονάδα αποθήκευσης της γενετικής πληροφορίας . Είναι ένα κομματάκι DNA με συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων , αυτό με την πορεία της γονιδιακής έκφρασης, θα καταλήξει να δώσει συνήθως μία πρωτεΐνη , η οποία με τη σειρά της συνδέεται με την εμφάνιση ενός χαρακτηριστικού σε έναν οργανισμό .»	1c/1e	Το γονίδιο είναι ένα τμήμα DNA./ Το γονίδιο είναι φορέας και/ή μονάδα πληροφορίας. νεοκλασικό
	2Icy	Το μοντέλο έχει οντότητες στο φαινοτυπικό και στο μοριακό επίπεδο. μη ιστορικό επιστημολογικό χαρακτηριστικό
	2IIa	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι ένα-προς-ένα. Μεντελικό/νεοκλασικό
	3b	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up). βιοχημικό-κλασικό/νεοκλασικό
	4c	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και βιοχημικό-κλασικό

	φαινοτύπου με ένα ένζυμο ως διαμεσολαβητή.	
5Ib	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι νατουραλιστικές.	Νεοκλασικό /σύγχρονο
5IIa	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι αιτιακές και μηχανιστικές.	Μεντελικό /κλασικό/ βιοχημικό-κλασικό/νεοκλασικό
6bx	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο-επίπεδο στο μοριακό επίπεδο.	μη ιστορικό επιστημολογικό χαρακτηριστικό
7a	Δε συμπεριλαμβάνονται περιβαλλοντικά στοιχεία.	Μεντελικό /κλασικό/ βιοχημικό-κλασικό

Όπως φαίνεται, η κάθε μονάδα ανάλυσης έχει τουλάχιστον εννιά κατηγορίες κωδικών (1, 2I, 2II, 3, 4, 5I, 5II, 6, 7) οι οποίες αντιπροσωπεύονται από τις μεταβλητές που κάθε φορά αρμόζουν στο περιεχόμενο της μονάδας ανάλυσης. Συνεπώς, για τη μαθήτριά 2 τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίζονται στη μονάδα αυτή ανάλυσης είναι τα 1c, 2Ibx, -, 3b, 4e, 5Ia, 5IIa, 6bx, 7a, ενώ στη μονάδα ανάλυσης του εκπαιδευτικού 1 ανιχνεύονται οι 1c/1e, 2Icy, 2IIa, 3b, 4c, 5Ib, 5IIa, 6bx, 7a. Και στις δύο μονάδες ανάλυσης συνυπάρχουν μεταβλητές που ανήκουν σε διαφορετικά ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία, αλλά και μεταβλητές που δεν ανήκουν στα μοντέλα αυτά, αλλά έχουν ανιχνευθεί σε διδακτικά εγχειρίδια της βιολογίας (Christidou & Papadopoulou, 2018· Gericke & Hagberg, 2007· Santos et al., 2012).

Μία από τις πιλοτικές συνεντεύξεις των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών αντίστοιχα, κωδικοποιήθηκαν από δύο ανεξάρτητους κωδικοποιητές με αρχικό βαθμό συμφωνίας 50%, υπολογίζοντας την αναλογία των κοινών προς τα συνολικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά τη κάθε μονάδας ανάλυσης (% κοινών/ συνολικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών). Καθώς ο βαθμός συμφωνίας αυτός δεν επιτυγχάνει μεγάλη αξιοπιστία στην αναλυτική διαδικασία, ακολούθησε κοινή κωδικοποίηση των αναλυτριών και ταυτόχρονη διαπραγμάτευση της διαφοροποίησης, ώστε να επιτευχθεί η τελική συμφωνία στο σύνολο των μονάδων ανάλυσης. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν και πάλι δύο συνεντεύξεις ανεξάρτητα και επετεύχθη υψηλό ποσοστό συμφωνίας 90%. Οι υπόλοιπες συνεντεύξεις, κωδικοποιήθηκαν μόνο από την κύρια ερευνήτρια. Η κωδικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ποιοτικής ανάλυσης ανοικτού κώδικα Taguette (Rampin & Rampin, 2021).

Όσον αφορά την εγκυρότητα της ανάλυσης αυτή διασφαλίζεται αφενός από το σχήμα ανάλυσης των Gericke και Hagberg (2007, 2010a, 2010b), το οποίο έχει δημοσιευθεί σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά, και αφετέρου από τη συναίνεση ειδικών στη διδακτική της βιολογίας.

3.6.3.4 Μείωση των δεδομένων σε διαχειρίσιμες αναπαραστάσεις

Όσον αφορά το στάδιο αυτό της ανάλυσης περιεχομένου, αυτό δεν ήταν εφικτό από τη στιγμή που επιλέχθηκε η παραγωγική (deductive) διαδικασία ανάλυση από «πάνω προς τα κάτω» και οι κατηγορίες/κωδικοί ήταν προαποφασισμένοι, συνδεδεμένοι με το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας και της αναλυτικής διαδικασίας.

3.6.3.5 Επαγωγική εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα φαινόμενα εντός του πλαισίου

Η επαγωγική εξαγωγή συμπερασμάτων στο πλαίσιο ενδιαφέροντος για την ερευνήτρια/αναλυτή, και σε συνάρτηση με τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούν την αναλυτική διαδικασία, τη μετακινεί εκτός των δεδομένων της (Krippendorff, 2019).

Τα δεδομένα στην παρούσα έρευνα που αποτέλεσαν πεδίο εξαγωγής συμπερασμάτων αποτέλεσαν η συχνότητα εμφάνισης των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων για τη γονιδιακή λειτουργία ανά μονάδα δειγματοληψίας, δηλαδή για κάθε μαθήτρια/τή και κάθε εκπαιδευτικό αντίστοιχα, αλλά και συνολικά για κάθε ομάδα. Ακόμα, υπολογίστηκαν οι συχνότητες εμφάνισης των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά κατηγορία επιστημολογικών χαρακτηριστικών (1, 2I, 2II, 3, 4, 5I, 5II, 6, 7). Ειδικές και κατηγοριοποιήσεις των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν τόσο ξεχωριστά για τα μη ιστορικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν και δεν αποτελούν μέρος κάποιου ιστορικού μοντέλου για τη γονιδιακή λειτουργία, αλλά έχουν εντοπιστεί σε διδακτικά εγχειρίδια της βιολογίας, όσο και για τις μεταβλητές που είναι μοναδικές και αντιστοιχούν σε ένα μόνο μοντέλο, υποδεικνύοντας έτσι και πιο ισχυρή την εμφάνισή του στις αντιλήψεις των πληροφορητριών/τών.

Επιπλέον, εκτιμήθηκε η συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών στους συνδυασμούς (Πίνακας 3) που περιγράφει το Μεντελικό μοντέλο, σε αυτόν που περιγράφει το κλασικό, το βιοχημικό-κλασικό, το νεοκλασικό και το σύγχρονο μοντέλο για τη γονιδιακή λειτουργία για τη κάθε μονάδα δειγματοληψίας (μαθήτρια/τής ή εκπαιδευτικός), αλλά και για το σύνολο των μαθητριών/τών και το σύνολο των εκπαιδευτικών, έτσι ώστε να παραχθούν συμπεράσματα σχετικά με τα μοντέλα που παρουσιάζονται στις αντιλήψεις τους αντίστοιχα.

Τέλος, προσδιορίστηκε η έκταση υβριδισμού των μοντέλων που κυριάρχησαν στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών ακολουθώντας την αντίστοιχη μεθοδολογία των Gericke και Hagberg (2010a). Ο υβριδισμός ορίστηκε ως η συχνότητα των ψευδώς ιστορικών (δηλαδή ανήκουν στο λάθος ιστορικό μοντέλο και όχι σε αυτό που κυριαρχεί με βάση τη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών) και μη ιστορικών (δηλαδή δεν υπάρχουν σε κανένα από τα ιστορικά μοντέλα) χαρακτηριστικών σε μια κατηγορία ιστορικών μοντέλων. Για παράδειγμα, εάν για κάποια μαθήτρια τα χαρακτηριστικά ήταν τα εξής: 1e, 2Icy, 2IIa, 3b, 4b, 5Ia, 5IIa, 6bx, 7a, δύο από τα εννιά χαρακτηριστικά (2Icy, 6bx) είναι αταξινόμητα και δύο δεν ανήκουν στις κατηγορίες του βιοχημικού μοντέλου (1e, 4b) του οποίου τα χαρακτηριστικά εμφανίζουν μεγαλύτερη συχνότητα. Οπότε ο υβριδισμός υπολογίζεται ως εξής: $(2+2)/9=0.44$, άρα 44%.

3.6.3.6 Αφήγηση της απάντησης στο ερευνητικό ερώτημα

Το τελικό στάδιο της ανάλυσης περιεχομένου κατά τον Krippendorff (2019) αποτελεί η παρουσίαση των ευρημάτων και η πρακτική σημασία τους ή η συμβολή τους στη διαθέσιμη βιβλιογραφία. Ακόμα, μπορεί να συνδράμουν στις προεκτάσεις μελλοντικών ερευνών. Αυτό το στάδιο αποτελεί μέρος του Κεφαλαίου της Συζήτησης όπου και θα παρουσιαστούν οι προεκτάσεις των ευρημάτων της παρούσας έρευνας.

Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο παραπάνω κεφάλαιο αναλύθηκαν οι μεθοδολογικές επιλογές υλοποίησης της παρούσας διατριβής. Προσδιορίστηκε η ανάλυση περιεχομένου ως η μεθοδολογική προσέγγιση ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης κατά την εξέταση διεθνούς βιβλιογραφίας για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Επίσης, αιτιολογήθηκαν οι μεθοδολογικές επιλογές κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης αυτής. Παρουσιάστηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία σχετικά με τις/τους συμμετέχουσες/οντες και τον τρόπο επιλογής τους. Έγινε αναλυτική περιγραφή των φάσεων δημιουργίας και εφαρμογής του ερευνητικού εργαλείου. Τέλος, έγινε αναφορά στον τρόπο ανάλυσης των δεδομένων που συλλέχθηκαν μέσω της ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου προκειμένου να γίνει κατανοητό το πώς προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

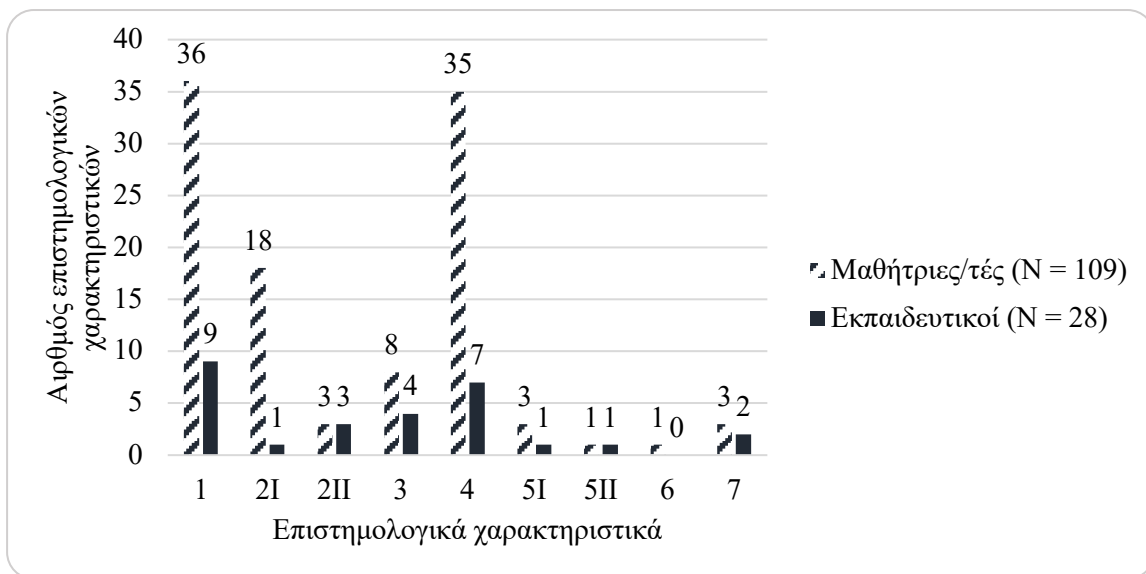
Στο παρόν κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής. Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης των δημοσιευμένων εργασιών της διεθνούς βιβλιογραφίας για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Παρατίθενται τα ιστορικά μοντέλα που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις αυτές, καθώς και οι συνδυασμοί των μοντέλων όπου χαρακτηριστικά αυτών συνυπήρχαν. Κατόπιν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής έρευνας για τη διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Αρχικά, παρατίθενται τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε, και ακολούθως, τα αποτελέσματα για τις δύο ομάδες πληροφορητριών/τών (μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών) που συμμετείχαν στην κύρια μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των πληροφορητριών/τών, όπως αυτά αναδείχθηκαν από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά τους.

4.1 Αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη διεθνή βιβλιογραφία

Κατά την επισκόπηση της διεθνούς ερευνητικής δραστηριότητας, ανάμεσα σε 127 δημοσιευμένες εργασίες, 48 από αυτές κρίθηκαν κατάλληλες για συστηματική ανασκόπηση ώστε να ανιχνευθούν τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Στην πλειοψηφία των ερευνών που αναλύθηκαν η διερεύνηση των ιδεών των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών περί γενετικής διεξήχθησαν μέσω γραπτού ερωτηματολογίου (ερωτήσεις κλειστού τύπου) και συνεντεύξεων (ερωτήσεις ανοιχτού τύπου) (Πίνακας 9 και Πίνακας 10).

Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν στις 37 επιστημονικές δημοσιεύσεις για τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και φοιτητριών/τών ήταν 109, ενώ 28 ανιχνεύθηκαν στα επιστημονικά άρθρα για τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Οι κυριότερες κατηγορίες γνωρισμάτων των μοντέλων που εντοπίστηκαν σε αντιλήψεις στις επιστημονικές μελέτες που αναλύθηκαν αφορούσαν στη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1), στη σχέση μεταξύ του οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 2), στη σχέση μεταξύ του γονοτύπου και φαινοτύπου (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 4), όπως φαίνεται στο Γράφημα 4. Επιπλέον, στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών βρέθηκαν επιστημολογικά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούσαν στην «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (επιστημολογικό

χαρακτηριστικό 3), καθώς και στις ρεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 5) και κάποια ως προς τη σχέση περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 7). Στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών ανιχνεύθηκαν τα δύο αυτά τελευταία επιστημολογικά χαρακτηριστικά, αλλά δεν βρέθηκαν χαρακτηριστικά που επιδείκνυαν την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 3). Τέλος, δεν ανιχνεύθηκαν καθόλου χαρακτηριστικά που να υποδεικνύουν την ύπαρξη ή μη της επαγωγικής ερμηνείας (επιστημολογικό χαρακτηριστικό 6).



Γράφημα 4. Πλήθος επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις μαθητριών/τών (N = 109) και εκπαιδευτικών (N = 28), ανά κατηγορία, στις επιστημονικές δημοσιεύσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση.

Η λεπτομερής παρουσίαση των αποτελεσμάτων της συστηματικής ανασκόπησης (Πίνακας 15) αναδεικνύει τη συχνότητα των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών.

Πίνακας 15. Περιγραφή των επιστημολογικών χαρακτηριστικών (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012) που χρησιμοποιήθηκαν και η συχνότητά τους στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών κατά τη συστηματική ανασκόπηση των δημοσιευμένων επιστημονικών μελετών. Η ποσοστιαία συχνότητα υπολογίζεται με βάση το συνολικό πλήθος των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών (N = 109) και των εκπαιδευτικών (N = 28).

Επιστημολογικά χαρακτηριστικά		Συχνότητα επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις (%)	
		μαθητριών/τών (N = 109)	εκπαιδευτικών (N = 28)
Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου			
1a	Το γονίδιο είναι μια αφηρημένη οντότητα και δεν έχει δομή.	11,9%	10,7%
1b	Το γονίδιο είναι ένα σωματίδιο πάνω στο χρωμόσωμα.	4,6%	10,7%
1c	Το γονίδιο είναι ένα τμήμα DNA.	7,3%	3,6%
1cx	Το γονίδιο και οι λειτουργίες του σχετίζονται με το DNA. (Christidou & Papadopoulou, 2020)	0,9%	0,0%
1d	Το γονίδιο αποτελείται από ένα ή περισσότερα DNA τμήματα με διάφορους σκοπούς.	0,0%	0,0%
1e	Το γονίδιο είναι φορέας και/ή μονάδα πληροφορίας. (Santos et al., 2012)	8,3%	7,1%
1f	Το γονίδιο υπάρχει σε συχνότητες. (Christidou & Papadopoulou, 2020)	0,0%	0,0%
Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας			
2Ia	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο- και συμβολικό επίπεδο.	10,1%	0,0%
2Ib	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο- και κυτταρικό επίπεδο.	1,8%	0,0%
2Ibx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο-, κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο.	1,8%	0,0%
2Ic	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μοριακό επίπεδο.	1,8%	3,6%
2Icx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο.	0,0%	0,0%
2Icy	Το μοντέλο έχει οντότητες στο φαινοτυπικό και στο μοριακό επίπεδο. (Santos et al., 2012)	0,9%	0,0%
2IIa	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι ένα-προς-ένα.	2,8%	7,1%
2IIb	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι πολλά-προς-πολλά.	0,9%	3,6%
Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας			
3a	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από πάνω προς τα κάτω (top-down).	1,8%	0,0%
3b	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up).	5,5%	14,3%
3c	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται μέσω μιας διαδικασίας.	0,0%	0,0%
Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου			
4a	Δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου.	10,1%	7,1%
4b	Υπάρχει διαχωρισμός, χωρίς επεξήγηση, μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου.	13,8%	10,7%
4c	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου με ένα ένζυμο ως διαμεσολαβητή.	7,3%	3,6%
4d	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου, που εξηγείται με βιοχημικές διαδικασίες.	0,9%	3,6%
4e	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου, με χρωμοσωμική εξήγηση. (Christidou & Papadopoulou, 2020)	0,0%	0,0%
Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεις στα μοντέλα			
5Ia	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι ιδεαλιστικές.	1,8%	0,0%

Πίνακας 15, συνέχεια

5Ib	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι νατουραλιστικές.	0,9%	3,6%
5IIa	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι αιτιακές και μηχανιστικές.	0,9%	3,6%
5IIb	Οι σχέσεις στο μοντέλο διέπονται από μια διαδικασία και είναι ολιστικές.	0,0%	0,0%
Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας			
6a	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο συμβολικό επίπεδο.	0,0%	0,0%
6b	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο κυτταρικό επίπεδο.	0,0%	0,0%
6bx	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο μοριακό επίπεδο.	0,9%	0,0%
6c	Δεν υπάρχει επαγωγική ερμηνεία.	0,0%	0,0%
Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων			
7a	Δε συμπεριλαμβάνονται περιβαλλοντικά στοιχεία.	0,9%	3,6%
7ax	Περιβαλλοντικά και γενετικά στοιχεία οδηγούν σε ένα γνώρισμα / προϊόν / λειτουργία.	1,8%	3,6%
7b	Περιβαλλοντικά στοιχεία υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα.	0,0%	0,0%
7c	Περιβαλλοντικά στοιχεία εμφανίζονται ως μέρος μιας διαδικασίας.	0,0%	0,0%

4.1.1 Μαθήτριες/τές

Στα αποσπάσματα (Πίνακας 9) που εντοπίστηκαν στις δημοσιευμένες εργασίες αναφορικά με τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύθηκαν 109 επιστημολογικά χαρακτηριστικά με τη συχνότητα που φαίνονται στον Πίνακας 15. Οι ερωτώμενες/οι παρουσίαζαν τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (κατηγορία επιστημολογικού χαρακτηριστικού 1) με δύο κυρίως τρόπους: α) είτε παρουσίαζαν το γονίδιο ως αφηρημένη οντότητα, χωρίς να αναφέρονται συχνά στην υλική του δομή, γεγονός που αντιστοιχούσε με το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1a (11,9%), ή β) αναφέρονταν στο γονίδιο ως φορέα και/ή μονάδα πληροφορίας (1e – 8,3%), ως τμήμα DNA (1c – 7,3%) ή πως το γονίδιο και οι λειτουργίες του σχετίζονται με το DNA (1cx – 0,9%). Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν στις δύο αυτές κατηγορίες μαθητριών/τών αντικατοπτρίζουν δύο ιστορικά μοντέλα, καθώς το 1a αποτελεί μοναδικό χαρακτηριστικό του Μεντελικού μοντέλου, καθώς τα 1c, 1cx και 1e συναντώνται μόνο στο νεοκλασικό μοντέλο.

Επίσης, η πλειοψηφία των μαθητριών/τών βρέθηκε να περιγράφει τη γονιδιακή λειτουργία με οντότητες στο μακρο- και συμβολικό επίπεδο (2Ia – 10,1%) που είναι αποκλειστικό επιστημολογικό χαρακτηριστικό του Μεντελικού μοντέλου, μαθήτριες/τές σε άλλες μελέτες συνέδεαν το μακρο-επίπεδο με το κυτταρικό (2Ib – 1,8%) που ανήκει στο κλασικό αλλά και στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο, ή το μακρο-, κυτταρικό- με το μοριακό επίπεδο, συνδέσεις μεταξύ οντοτήτων που δεν υπάρχουν σε κανένα από τα ιστορικά μοντέλα (2Ibx – 1,8%). Σε τρεις έρευνες αντιστοιχήθηκε από τις/τους μαθήτριες/τές η γονιδιακή λειτουργία με το γονίδιο με αναλογία ένα-προς-ένα (2IIa – 2,8%), ενώ μόνο σε μία έρευνα έγινε η αντιστοίχιση μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας ως πολλά-προς-

πολλά. Επαγωγική ερμηνεία ανάμεσα στα επίπεδα αυτά βρέθηκε σε μία έρευνα, όπου οι μαθήτριες/τές συνέδεσαν το μακρο- με το μοριακό επίπεδο (6bx – 0,9%).

Ο ορισμός της λειτουργίας του γονιδίου από τις μαθήτριες/τές που ερωτήθηκαν στις επιστημονικές μελέτες που χρησιμοποιήθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση καθοριζόταν κατά βάση από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) (3b – 5,5%) έναντι του από πάνω προς τα κάτω (top-down) (3a – 1,8%), καθώς η πλειοψηφία διαχώριζε το γενότυπο από το φαινότυπο, αλλά χωρίς να εξηγεί τον τρόπο επιρροής του ενός στον άλλον (4b – 13,8%). Ένα μικρό ποσοστό επιστημολογικών χαρακτηριστικών αφορά στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας και της σύνδεσης γονοτύπου – φαινοτύπου μέσω ενός ενζύμου, μιας πρωτεΐνης ως διαμεσολαβητή (4c – 7,3%), ενώ ανιχνεύθηκαν και αντιλήψεις που δεν εξέφρασαν κανένα διαχωρισμό μεταξύ των δύο (4a – 10,1%).

Όταν υπήρχε περιγραφή σχέσεων οντοτήτων στα μοντέλα αυτές παρουσιάζονταν συνήθως με αφηρημένο τρόπο, χωρίς αναφορά σε βιοχημικές διαδικασίες (5Ia – 1,8%), που ανιχνεύθηκαν μόνο σε αντιλήψεις μαθητριών/τών σε μια έρευνα (5Ib – 0,9%).

Τέλος, ανιχνεύθηκαν δύο επιστημολογικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν την επίδραση περιβαλλοντικών και γενετικών στοιχείων που οδηγούν σε ένα γνώρισμα / προϊόν / λειτουργία (7ax – 1,8%) ή την απουσία των περιβαλλοντικών στοιχείων στη γονιδιακή λειτουργία (7a – 0,9%).

Πίνακας 16. Δημοσιευμένες εργασίες ($N = 38$) για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών για το γονίδιο και τη γονιδιακή και η αντιστοίχισή τους με τα ιστορικά μοντέλα της εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας του γονιδίου σύμφωνα με αποσπάσματά τους κατά τη συστηματική ανασκόπηση, σε αλφαβητική σειρά χωρών πραγματοποίησης της κάθε μελέτης.

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά	Μοντέλο/α
Αυστραλία	Donovan & Venville, 2012	1a & 1c, 4a	Υβριδικό (Μεντελικό, νεοκλασικό)
	Tsui & Treagust, 2010	1e, 2Ia, 4c	Υβριδικό (Μεντελικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)
	Venville & Treagust, 1998	1b	Κλασικό, βιοχημικό-κλασικό
	Venville et al., 2005	1a, 4a	Μεντελικό
Βιβλιογραφική επισκόπηση	Gericke & Hagberg, 2007	-	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό και βιοχημικό-κλασικό)

Πίνακας 16, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά	Μοντέλο/α
Βραζιλία	El-Hani et al., 2014	2Ia, 2Ic	Μεντελικό, νεοκλασικό
Ελλάδα	Γιασεμής, 2011	1e, 4b	Υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)
	Κεμεντσιεντζίδου, 2009	1c, 4b & 4c	Υβριδικό (κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)
	Κουμπάρου κ.ά., 2011	3b, 4b	Υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Duncan & Reiser, 2007	1e, 2Ibx, 4b	Υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)
	Duncan & Tseng, 2011	1a, 1e, 2Ia, 2Ibx, 3b, 4a, 4b	Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό
	Duncan et al., 2011	1a, 1e, 2Ia, 4b, 4c	Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό
	LeVaughn, 2016	1a, 1e, 4c	Υβριδικό (Μεντελικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)
	Newman et al., 2021	1b, 1c, 1e, 2Ic, 4b, 4c, 5Ib	Μεντελικό, κλασικό/βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό/σύγχρονο, υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)
	Sharp et al. 2023	1c, 1e, 2Icy, 2IIa, 2IIa & 2IIb, 3b, 4b, 4c, 4d, 5Ia, 5IIa, 6bx, 7ax	Υβριδικό (κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)
	Clough and Wood-Robinson, 1985	1b, 2Ia, 3a	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)
Ηνωμένο Βασίλειο	Lewis & Wood-Robinson, 2000	1a, 1e, 3b, 4b	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό)
	Lewis et al., 2000a	1c, 1cx	Υβριδικό (Μεντελικό, νεοκλασικό)
	Lewis, 2014	2IIa, 4c	Μεντελικό, Βιοχημικό-κλασικό
	Mardiyyaningsih, 2021	-	Νεοκλασικό, υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)

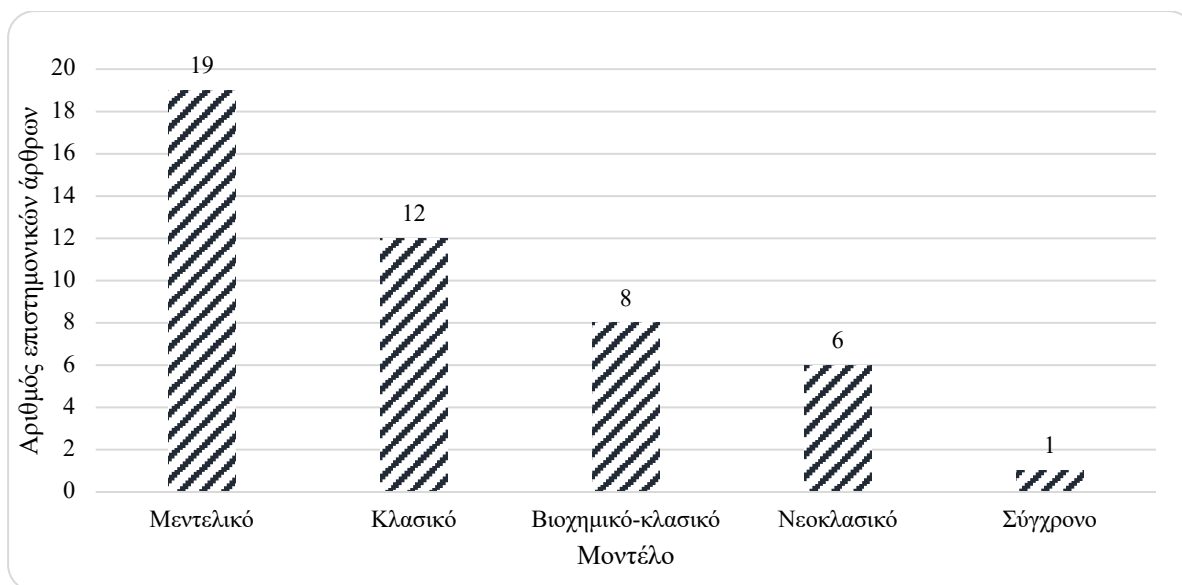
Πίνακας 16, συνέχεια

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά	Μοντέλο/α
	Wood-Robinson et al., 2000	2Ia	Μεντελικό
Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία	Lewis & Kattmann, 2004	1a, 4a	Μεντελικό
Ινδονησία	Mardiyyaningsih, 2021	-	Κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό, υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό, Μεντελικό, νεοκλασικό)
Ισπανία	Banet & Ayuso, 2000	1e, 2Ib	Κλασικό, βιοχημικό-κλασικό
Ισραήλ	Haskel-Ittah & Yarden, 2017	1b, 4b, 5Ia	Κλασικό
	Haskel-Ittah et al., 2018	4a	Μεντελικό
	Marbach-Ad & Stavy, 2000	2Ib	Κλασικό, βιοχημικό-κλασικό
	Marbach-Ad, 2001	1a, 4a, 3b, 4b	Μεντελικό, υβριδικό, (κλασικό, νεοκλασικό)
Λίβανος	Osman et al., 2017	7ax	Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό
Μαρόκο	Agorram et al., 2010	1c, 2Ia, 4c	Υβριδικό (Μεντελικό, βιοχημικό, κλασικό, νεοκλασικό)
Μπουτάν	Dorji, Tshering, & Dorji, 2017	1a, 4a, 4b	Μεντελικό, κλασικό
	Dorji, Tshering, Chettri, et al., 2017	1a, 2Ia, 3b, 4b	Μεντελικό, κλασικό
Νιγηρία	Ahmed et al., 2018	4a	Μεντελικό
Ολλανδία	Koers, 2016	1a, 4a, 7a	Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό
Σιγκαπούρη	Chin & Teou, 2010	1a, 2Ia	Μεντελικό
Σουηδία	Gericke & Wahlberg, 2013	2Ia, 4a & 4b	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό)
	Gericke et al., 2013	-	Υβριδικό

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα / Διδακτορικές διατριβές	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά	Μοντέλο/α
Τουρκία	Saka et al., 2006	1a, 1b, 2Ia, 4a	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό)
Φινλανδία	Halldén, 1988	1b, 1c, 3a, 4b	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό)

Κατά την αντιστοίχιση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών με τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία (Πίνακας 16) το Μεντελικό μοντέλο είχε τη μεγαλύτερη αντιπροσώπευση στα επιστημονικά άρθρα που αναλύθηκαν, καθώς ανιχνεύθηκε σε 19 επιστημονικές δημοσιεύσεις. Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν τα υπόλοιπα ιστορικά μοντέλα ανιχνεύθηκαν κατά ελλοτούμενη συχνότητα στις δημοσιεύσεις που αναλύθηκαν, συγκεκριμένα μεταβλητές του κλασικού μοντέλου εμφανίστηκαν σε 12 επιστημονικές δημοσιεύσεις, το βιοχημικό-κλασικό σε οχτώ, το νεοκλασικό σε 6 και το σύγχρονο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μέσω κοινών χαρακτηριστικών με το νεοκλασικό μοντέλο, σε μία (Γράφημα 5).

Ο αριθμός, ωστόσο, των επιστημονικών άρθρων στα οποία ανιχνεύθηκαν υβριδικά μοντέλα, όπου επιστημολογικά χαρακτηριστικά δηλαδή συνυπήρχαν στις αντιλήψεις μαθητριών και μαθητών, ήταν εξίσου συχνός με το Μεντελικό μοντέλο, καθώς εμφανίστηκαν σε 20 δημοσιεύσεις. Η σύσταση των υβριδικών μοντέλων αναλύεται στον Πίνακας 17, όπου γίνεται προφανής η απουσία του σύγχρονου μοντέλου και σε αυτά, δεδομένου ότι εμφανίζεται σε μία δημοσίευση μέσω κοινών επιστημολογικών χαρακτηριστικών με το νεοκλασικό μοντέλο. Τα υβριδικά μοντέλα που ανιχνεύθηκαν αποτελούνται από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των υπόλοιπων τεσσάρων μοντέλων (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό) σε διάφορους συνδυασμούς και εντοπίζονται τα μοντέλα αυτά και μεμονωμένα.



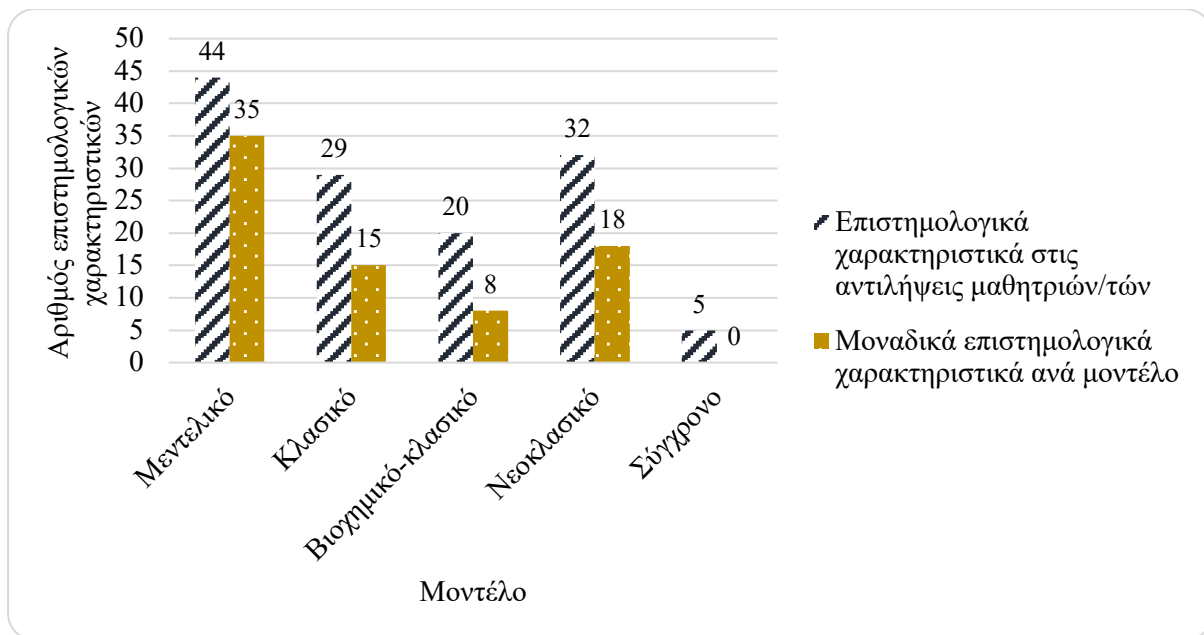
Γράφημα 5. Ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις μαθητριών/τών στα επιστημονικά άρθρα ($N = 38$) της συστηματικής ανασκόπησης. Σημειώνεται ότι σε κάθε δημοσίευση είναι δυνατή η ύπαρξη παραπάνω του ενός μοντέλου.

Πίνακας 17. Ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία όπως αυτά ανιχνεύθηκαν στις επιστημονικές δημοσιεύσεις ($N = 38$) για τις αντιλήψεις μαθητριών/τών που χρησιμοποιήθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση. Σημειώνεται ότι σε κάθε δημοσίευση είναι δυνατή η ύπαρξη παραπάνω του ενός μοντέλου.

Μοντέλο/α	Επιστημονικά άρθρα / Διδακτορικές διατριβές ($N = 38$)
Μεντελικό	6
Κλασικό, βιοχημικό-κλασικό	3
Υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)	3
Μεντελικό, κλασικό	2
Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό	2
Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό	2
Υβριδικό (κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)	2
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό)	2
Υβριδικό (Μεντελικό, νεοκλασικό)	2
Κλασικό	1
Κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό, υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό)	1
Μεντελικό, βιοχημικό-κλασικό	1
Μεντελικό, κλασικό/βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό/σύγχρονο, υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)	1
Μεντελικό, νεοκλασικό	1
Μεντελικό, υβριδικό, (κλασικό, νεοκλασικό)	1

Νεοκλασικό, υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό	1
Υβριδικό (Μεντελικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, βιοχημικό, κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό και βιοχημικό-κλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό)	1

Στην ποσοτική ανάλυση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών, ανεξαρτήτως των επιστημονικών δημοσιεύσεων στις οποίες βρέθηκαν, φαίνεται η εκπροσώπηση των ιστορικών μοντέλων από τα μοναδικά τους χαρακτηριστικά (Γράφημα 6). Αυτά, αποτέλεσαν το 70% των συνολικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν και η αντιστοιχία τους με τα συνολικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων ακολουθεί εμφανώς παρόμοια κατανομή. Ακόμα, μελετώντας τα συνολικά καθώς και τα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά, φαίνεται να υπερισχύει το Μεντελικό μοντέλο στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών στη διεθνή βιβλιογραφία, ενώ ακολουθούν το νεοκλασικό, το κλασικό και το βιοχημικό-κλασικό. Η έλλειψη μοναδικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών του σύγχρονου μοντέλου και η ύπαρξή του στα αποτελέσματα μόνο μέσω κοινών χαρακτηριστικών με άλλα ιστορικά μοντέλα, ενισχύει τη διαπίστωση πως οι μαθήτριες/τές δεν χρησιμοποίησαν σύγχρονα στοιχεία της θεώρησης του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας, όταν κλήθηκαν να τα περιγράψουν.



Γράφημα 6. Πλήθος επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά ιστορικό μοντέλο για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις μαθητριών/τών ($N = 109$) και τα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν για κάθε ιστορικό μοντέλο ($N = 72$). Το άθροισμα των συνολικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών εμφανίζεται μεγαλύτερο του πλήθους που ανιχνεύθηκαν, καθώς πολλά χαρακτηριστικά είναι κοινά για κάποια μοντέλα.

4.1.2 Εκπαιδευτικοί

Στα αποσπάσματα (Πίνακας 10) που εντοπίστηκαν στις δημοσιευμένες εργασίες αναφορικά με τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύθηκαν 28 επιστημολογικά χαρακτηριστικά με τη συχνότητα που φαίνονται στον Πίνακα 15. Οι ερωτώμενες/οι παρουσίαζαν τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (κατηγορία επιστημολογικού χαρακτηριστικού 1) με τρόπους που προκύπτουν από τέσσερα διαφορετικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά. Είτε παρουσίαζαν το γονίδιο ως αφηρημένη οντότητα, χωρίς να αναφέρονται συχνά στην υλική του δομή, γεγονός που αντιστοιχούσε με το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1a (10,7%), είτε συσχέτιζαν το γονίδιο με το χρωμόσωμα και περιέγραφαν μια σωματιδιακή υπόσταση (1b – 10,7%), ή τέλος, αναφέρονταν στο γονίδιο ως φορέα και/ή μονάδα πληροφορίας (1c – 7,1%) ή ως τμήμα DNA (1c – 3,6%).

Όσον αφορά την κατηγορία του επιστημολογικού χαρακτηριστικού που περιγράφει τη σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας, οι εκπαιδευτικοί μίας έρευνας περιέγραψαν όλες τις οντότητες του μοντέλου τους στο μοριακό επίπεδο (21c – 3,6%) που είναι μεταβλητή που δεν ανήκει σε κάποιο ιστορικό μοντέλο, ενώ για την αντιστοιχία μεταξύ γονιδίου και γονιδιακής λειτουργίας ανιχνεύθηκαν και

χαρακτηριστικά που την ορίζουν ως ένα-προς ένα (2IIa – 7,1%) και πολλά-προς-πολλά (2IIb – 3,6%).

Αναφορικά με την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν αντιστοιχούσαν στον ορισμό της λειτουργίας του γονιδίου από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) (3b – 14,3%).

Η πλειοψηφία των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν για την περιγραφή της σχέσης γονοτύπου – φαινοτύπου διέκρινε τους δύο όρους, αλλά έλλειπε η επεξήγηση από τους εκπαιδευτικούς (4b – 10,7%). Σε μικρότερο ποσοστό οι εκπαιδευτικοί δεν διαχώρισαν καθόλου το γονότυπο από το φαινότυπο, όταν ρωτήθηκαν για τη γονιδιακή λειτουργία (4a – 7,1%). Επιπλέον, εντοπίστηκε σε μία έρευνα περιγραφή της σχέσης του γονοτύπου με το φαινότυπο με ένζυμο ως διαμεσολαβητή (4c – 3,6%), ενώ σε άλλη μία αυτή η σχέση αναλύθηκε με βιοχημικές διαδικασίες (4d – 3,6%).

Όπου ανιχνεύθηκαν επιστημολογικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ οντοτήτων σε ένα μοντέλο για τη γονιδιακή λειτουργία, αυτά αντιστοιχίζονταν με αντιλήψεις που παρουσίαζαν νατουραλιστικές, βιοχημικές διαδικασίες (5Ib – 3,6%) ή τις παρουσίαζαν αιτιακές και μηχανιστικές, με το γονίδιο να καθορίζει το χαρακτηριστικό (5IIa – 3,6%).

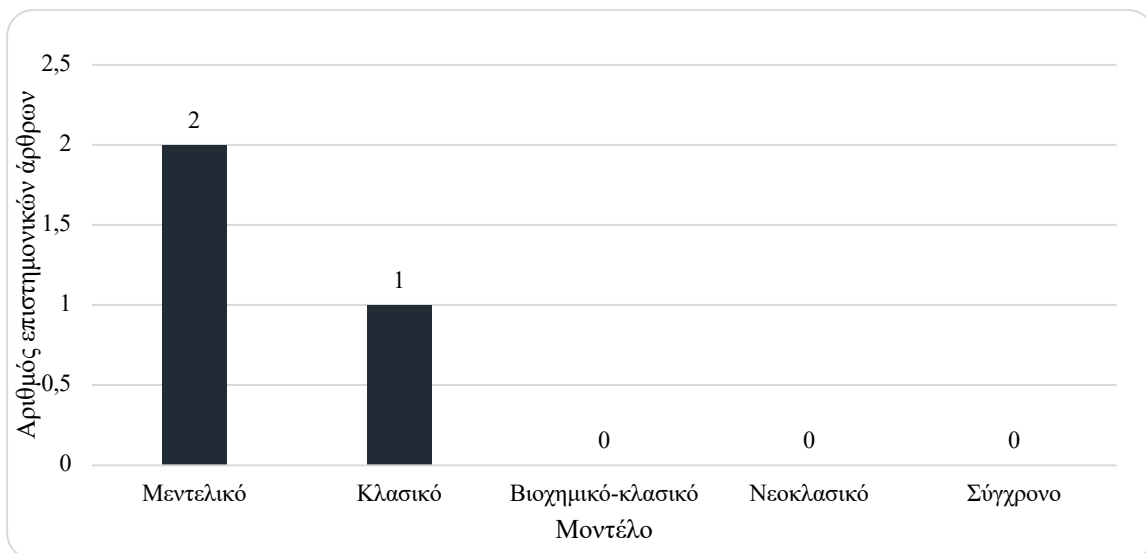
Τέλος, ανιχνεύθηκαν δύο επιστημολογικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν την επίδραση περιβαλλοντικών και γενετικών στοιχείων που οδηγούν σε ένα γνώρισμα / προϊόν / λειτουργία (7ax – 3,6%) ή την απουσία των περιβαλλοντικών στοιχείων στη γονιδιακή λειτουργία (7a – 3,6%).

Πουθενά δεν εντοπίστηκαν επιστημολογικά χαρακτηριστικά που αφορούν στην επαγωγική ερμηνεία μεταξύ οργανωτικών επιπέδων της γονιδιακής λειτουργίας (κατηγορία επιστημολογικού χαρακτηριστικού 6).

Πίνακας 18. Δημοσιευμένες εργασίες (N = 11) για τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη γονιδιακή και η αντιστοιχισή τους με τα ιστορικά μοντέλα της εννοιολογικής ποικιλότητας της λειτουργίας του γονιδίου σύμφωνα με αποσπάσματά τους κατά τη συστηματική ανασκόπηση, σε αλφαβητική σειρά χωρών πραγματοποίησης της κάθε μελέτης.

Χώρα διδασκαλίας / μελέτης	Άρθρα	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά	Μοντέλο/α
Αυστραλία	Venville & Treagust, 1998	1a & 1b, 2IIa, 4a	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό/βιοχημικό-κλασικό)
Βιβλιογραφική επισκόπηση	Gericke & Hagberg, 2007	-	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό)
Βραζιλία	Antonelli-Ponti et al. 2018	7a	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό)
Γαλλία	Forissier & Clément, 2003	4b, 5IIa	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό)
Ελβετία	Kampourakis et al. 2016	1a, 2IIa, 3b, 4a	Υβριδικό (Μεντελικό, νεοκλασικό)
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	Newman et al. 2021	1c/1e, 2Ic, 3b, 4d, 5Ib	Υβριδικό (νεοκλασικό, σύγχρονο) με μη ιστορικό επιστημολογικό χαρακτηριστικό
	Martins & Ogborn, 1997	1a	Μεντελικό
Ηνωμένο Βασίλειο	Walker & Plomin 2005	7ax	Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό)
Ισραήλ	Marbach-Ad, 2001	1b, 3b, 4b & 4c	Υβριδικό (κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)
Σουηδία	Thörne et al. 2013	1b, 1e, 2IIb, 3b, 4b	Υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό, σύγχρονο)
Τουρκία	Dikmenli et al. 2011	-	Μεντελικό, κλασικό

Κατά την αντιστοίχιση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών με τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία (Πίνακας 19) το Μεντελικό και το κλασικό μοντέλο ανιχνεύθηκαν σε δύο και μία επιστημονική δημοσίευση αντίστοιχα. Όπως διακρίνεται και στο Γράφημα 7, όπου φαίνεται συγκεντρωτικά ο αριθμός των επιστημονικών άρθρων για το κάθε μοντέλο, μόνο σε δύο δημοσιεύσεις/άρθρα ανιχνεύθηκαν επιστημολογικά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν στο Μεντελικό και σε μία το κλασικό μοντέλο αντίστοιχα. Στην πλειοψηφία των άρθρων, σε εννιά δηλαδή, συνυπήρχαν στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών επιστημολογικά χαρακτηριστικά διαφορετικών μοντέλων, ώστε να κατηγοριοποιηθούν ως υβριδικές (Πίνακας 19). Συγκεκριμένα, τα υβριδικά αυτά μοντέλα αποτελούνται από μεταβλητές από τα πρώτα ιστορικά μοντέλων, το Μεντελικό, το κλασικό και το βιοχημικό-κλασικό, και έχουν εντοπιστεί και ακόμα έξι υβριδικά με διάφορους συνδυασμούς επιστημολογικών χαρακτηριστικών του συνόλου των μοντέλων.

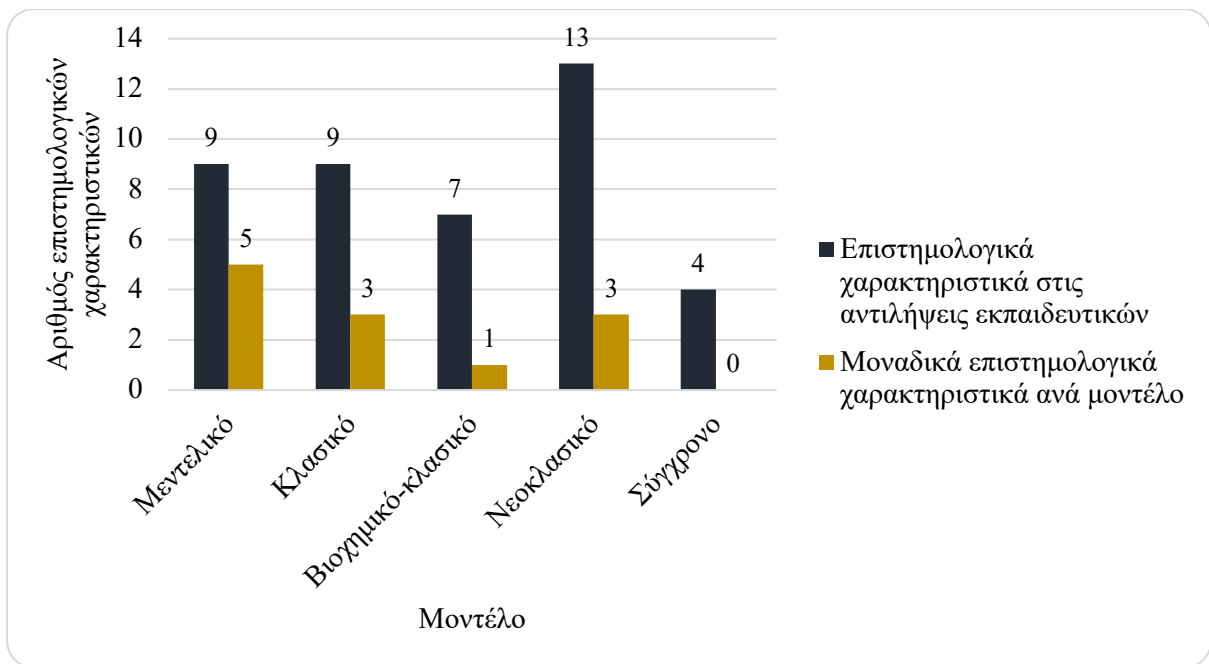


Γράφημα 7. Ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών στα επιστημονικά άρθρα ($N = 11$) της συστηματικής ανασκόπησης.

Πίνακας 19. Ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις επιστημονικές δημοσιεύσεις ($N = 11$) για τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών που χρησιμοποιήθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση.

Μοντέλο/α	Επιστημονικά άρθρα / Διδακτορικές διατριβές ($N = 11$)
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό)	3
Μεντελικό	1
Μεντελικό, κλασικό	1
Υβριδικό (κλασικό, βιοχημικό-κλασικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (κλασικό, νεοκλασικό, σύγχρονο)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, κλασικό/βιοχημικό-κλασικό)	1
Υβριδικό (Μεντελικό, νεοκλασικό)	1
Υβριδικό (νεοκλασικό, σύγχρονο)	1

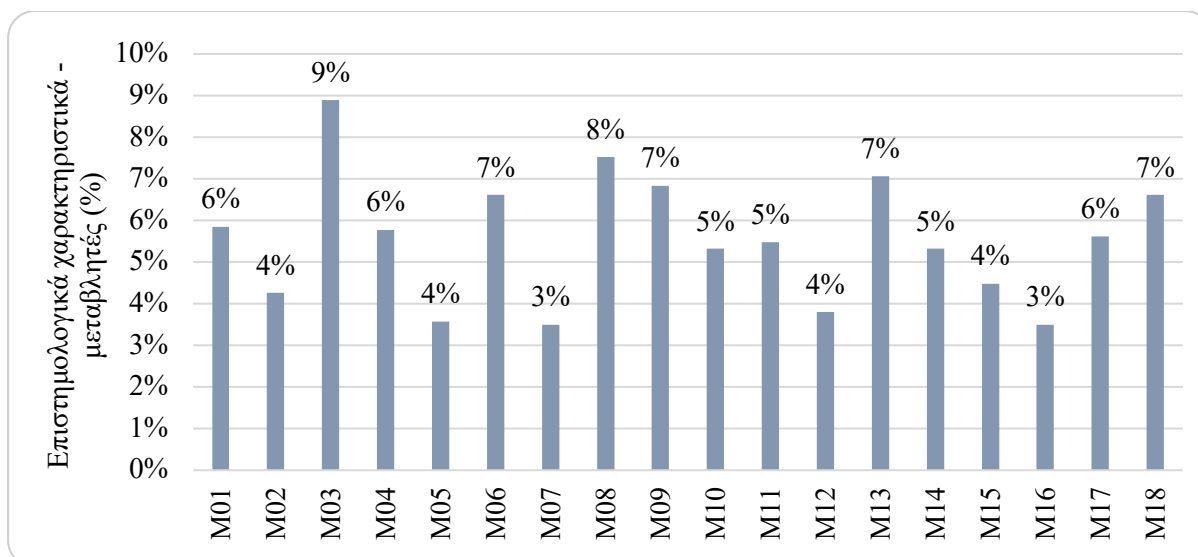
Στην ποσοτική ανάλυση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών, ανεξαρτήτως των επιστημονικών δημοσιεύσεων στις οποίες βρέθηκαν, φαίνεται η εκπροσώπηση των ιστορικών μοντέλων από τα μοναδικά τους χαρακτηριστικά (Γράφημα 8). Αυτά, αποτέλεσαν το 43% των συνολικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν και αντιστοιχούν κυρίως στο Μεντελικό μοντέλο, και σε μικρότερη συχνότητα στα κλασικό, νεοκλασικό και βιοχημικό-κλασικό. Παρά την απουσία του βιοχημικού-κλασικού και του νεοκλασικού μοντέλου από την εικόνα που δίνουν τα αποτελέσματα ανά επιστημονική δημοσίευση (Γράφημα 7), εμφανίζονται και τα δύο αυτά μοντέλα να είναι υπαρκτά με αρκετά από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά τους στα υβριδικά μοντέλα, ενώ για το νεοκλασικό εντοπίζονται τόσα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά όσα και για το κλασικό. Εμφανής είναι η απουσία μοναδικών χαρακτηριστικών για το σύγχρονο μοντέλο, γεγονός που υποδεικνύει την παρουσία του σύγχρονου μοντέλου αποκλειστικά μέσω των χαρακτηριστικών που μοιράζεται με τα υπόλοιπα μοντέλα.



Γράφημα 8. Πλήθος επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά ιστορικό μοντέλο για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών ($N = 28$) και τα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν για κάθε ιστορικό μοντέλο ($N = 12$). Το άθροισμα των συνολικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών εμφανίζεται μεγαλύτερο του πλήθους που ανιχνεύθηκαν, καθώς πολλά χαρακτηριστικά είναι κοινά για κάποια μοντέλα.

4.2 Αντιλήψεις μαθητριών/τών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Από την ποιοτική ανάλυση των απομαγνητοφωνήσεων των συνεντεύξεων για την ανίχνευση των αντιλήψεων 18 μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τη δομή και λειτουργία του γονιδίου προέκυψαν 1316 επιστημολογικά χαρακτηριστικά σε 236 μονάδες ανάλυσης (Πίνακας 20), κατά μέσο όρο 73 (6%) περίπου για κάθε πληροφορήτρια/τή (Γράφημα 9).



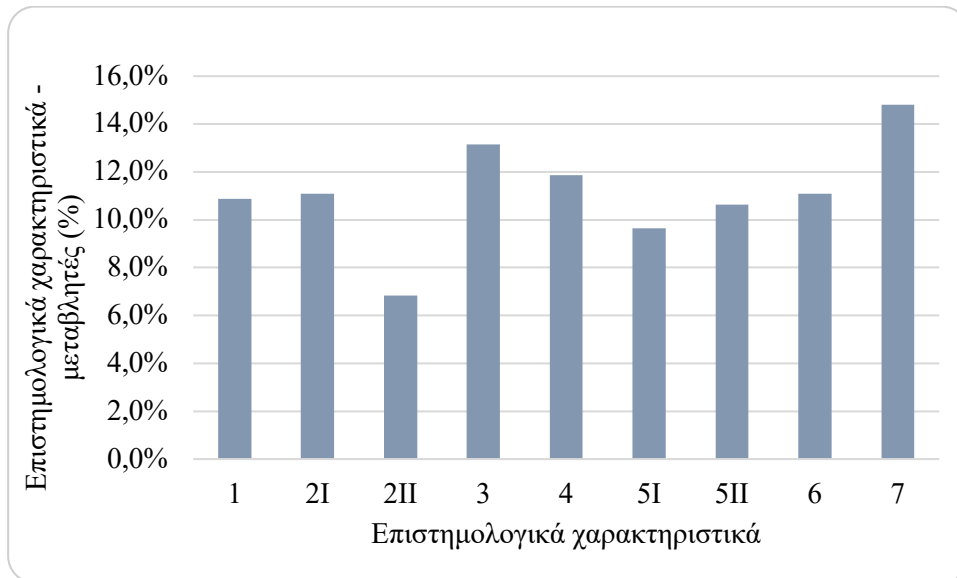
Γράφημα 9. Ποσοστά επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν ($N = 1316$) ανά μαθήτριά/τή.

Πίνακας 20. Οι μονάδες ανάλυσης και τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν σε αυτές ανά μαθήτριά/τή.

Μαθήτριάς/τές	Μονάδες ανάλυσης	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά
M01	14	77
M02	12	56
M03	17	117
M04	8	76
M05	6	47
M06	14	87
M07	9	46
M08	12	99
M09	14	90
M10	14	70
M11	14	72
M12	13	50
M13	14	93
M14	15	70
M15	15	59
M16	15	46
M17	16	74
M18	14	87
Σύνολο	236	1316

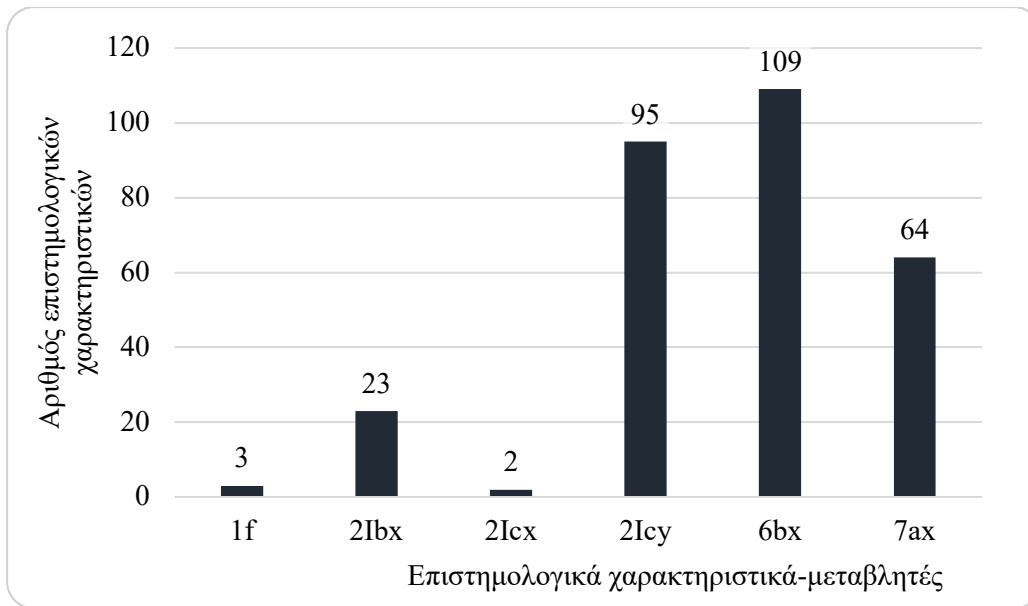
Πιο αναλυτικά, στο Γράφημα 10 παρουσιάζεται η συχνότητα όλων των παραλλαγών των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν ανά επιστημολογικό

χαρακτηριστικό. Όλα τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά εντοπίστηκαν στις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν, ενώ ακολουθεί η λεπτομερής καταγραφή των ποσοστών των χαρακτηριστικών από τις οποίες αντιπροσωπεύεται το κάθε χαρακτηριστικό. Η παράθεση των ποσοστών των επιστημολογικών χαρακτηριστικών σε σύγκριση και με αυτών που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 26 (Παράρτημα V).



Γράφημα 10. Ποσοστά επιστημολογικών χαρακτηριστικών ($N = 1316$) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Από το σύνολο των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, το 22% αποτέλεσαν οι μεταβλητές που δεν ανήκουν σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Βρέθηκαν μεταβλητές για κάθε μία από τις έξι όπως φαίνεται και στο Γράφημα 11, με τη μεταβλητή 6b να είναι η πιο συχνή, μαζί με τις 2Icy και 7ax, ενώ οι 2Ibx, η 1f και η 2Icx να έχουν εντοπιστεί πολύ λίγες φορές. Η συχνότητά τους παρατίθεται παρακάτω αναλυτικότερα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταβλητές για κάθε επιστημολογικό χαρακτηριστικό.



Γράφημα 11. Μη ιστορικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά ($N = 296$) που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών.

4.2.1 Επιστημολογικά χαρακτηριστικά στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών

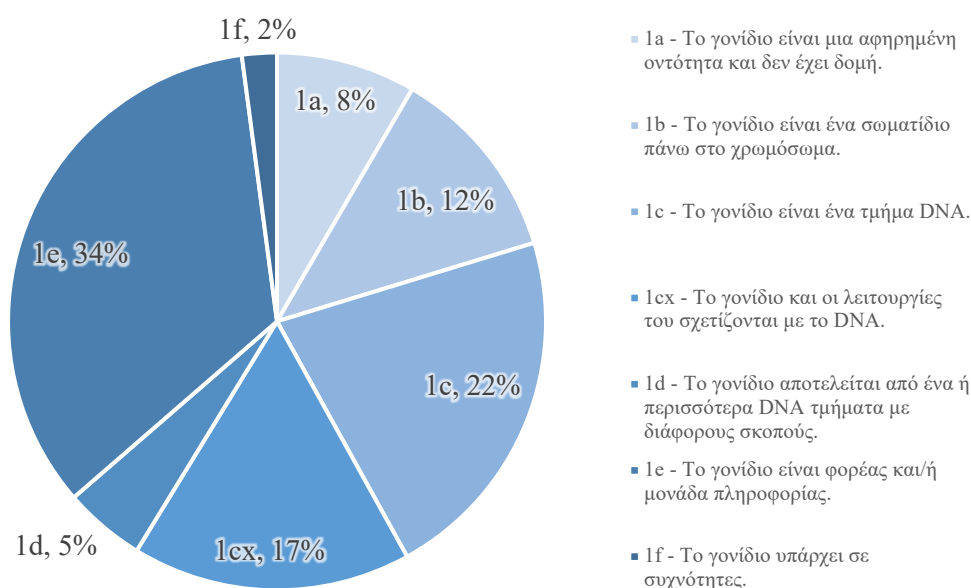
4.2.1.1 Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1)

Όσον αφορά την περιγραφή της σχέσης δομής και λειτουργίας του γονιδίου (Γράφημα 12) οι πλειοψηφία των επιστημολογικών χαρακτηριστικών ήταν αυτά που περιγράφουν το γονίδιο ως φορέα και/ή μονάδα πληροφορίας (1e) και ως σταθερό τμήμα DNA (1c) και ανήκουν στο νεοκλασικό μοντέλο (Γράφημα 12). Πολλές φορές οι δύο αυτές μεταβλητές συνυπήρχαν στο λόγο των πληροφορητριών/τών. Για παράδειγμα:

Μαθήτρια 5: Ε, τα γονίδια είναι τμήματα που βρίσκονται πάνω στο DNA, όπου είναι ναι, τμήματα του DNA. Είναι μια συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων, το καθένα, το κάθε γονίδιο κωδικοποιεί και κάποιες πληροφορίες ή πληροφορίες για την παραγωγή κάποιων χρήσιμων ενζύμων που χρειάζονται, αυτό, δηλαδή είναι τμήματα που κωδικοποιούν διάφορα χρήσιμα πράγματα.

Η μαθήτρια 5 αναφέρεται στο γονίδιο ως ένα «τμήμα DNA» και «συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων» (1c), αλλά ταυτόχρονα το αναγνωρίζει και ως φορέα πληροφορίας για κωδικοποίηση ενζύμων (1e).

1 - Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου



Γράφημα 12. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 1 ($N = 143$) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Ως φορέα πληροφορίας (1e) το αναγνώρισαν και οι μαθήτριες/ές που αναφέρθηκαν σε αυτό ως υπεύθυνο για ένα χαρακτηριστικό ενός οργανισμού, όπως το χρώμα των ματιών, των μαλλιών και άλλων εξωτερικών, εμφανών χαρακτηριστικών, αλλά και ως τόπο αποθήκευσης οδηγιών για τη λειτουργία του.

Μαθήτρια 1: [...] ένα γονίδιο, ας πούμε αν τα μάτια ήταν από, για ένα... οφειλόντουσαν σε ένα γονίδιο, αν η μητέρα μου μού είχε δώσει το γονίδιο για πράσινα μάτια, και ο πατέρας μου το γονίδιο για μπλε μάτια.

Μαθήτρια 3: αφού μας παρέχουν τις οδηγίες μας [...] τα γονίδια...εε..θα καθορίσουν και πόσο, αν θα είμαστε μελαχρινοί, αν θα είμαστε ξανθοί, αν..ε..το τί χρώμα ματιών θα έχουμε, το τί σχήμα προσώπου, τελοσπάντων, γενικά, όλα τα χαρακτηριστικά τα εξωτερικά μας.

Μαθήτρια 8: [...] Οπότε ναι, αποτελείται από νουκλεοτίδια και είναι ένας τρόπος να αποθηκευτεί μια πληροφορία για να γίνει μια πρωτεΐνη μετά.

Μαθήτρια 13: Το DNA είναι το γενετικό μας υλικό, δηλαδή έχει μέσα πληροφορίες για το πώς.. για τα χαρακτηριστικά που έχουμε εξωτερικά, το ύψος μας, το χρώμα της επιδερμίδας μας, αλλά και το πώς, τη λειτουργία που θα έχει ο οργανισμός μας, οπότε συνδέεται έτσι και καθορίζει τα πάντα.

Περίπου στο ένα τέταρτο των απαντήσεων των μαθητριών/τών συμπεριέλαβε στις εξηγήσεις του τη σκέψη πως το γονίδιο αποτελείται από ένα τμήμα DNA (1c).

Μαθήτρια 2: ...Το γονίδιο είναι..εε..ένα τμήμα DNA, το οποίο θα..το οποίο θα..το οποίο μπορεί να μεταφραστεί..εε..δηλαδή να..εε..εκφραστεί φαινοτυπικά σε έναν άνθρωπο.

Μαθήτρια 3: Ένα γονίδιο είναι μια συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων που βρίσκεται στο DNA ενός οργανισμού.

Μαθήτρια 16: Το γονιδίωμα είναι το συνολικό DNA ενός οργανισμού. Οπότε το γονίδιο είναι ένα κομμάτι από το γονιδίωμα.

Το 17% των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν αφορούσε τον ορισμό του γονιδίου σε σχέση με το DNA και τις λειτουργίες του (1cx), θεώρηση που μαζί με τις δύο προαναφερθείσες ανήκουν στην περιγραφή του νεοκλασικού μοντέλου.

Μαθήτρια 2: Είναι DNA. Αυτό, νομίζω δεν είναι, το γονίδιο δεν είναι, δεν ξέρω αν καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στο σώμα μας και πόσο είναι το ποσοστό.

Μαθήτρια 13: Εγώ από αυτή τη φράση καταλαβαίνω ότι μας καθορίζουνε τα γονιδιά μας, δηλαδή αυτό που λέει το DNA μας, στην ουσία έτσι αναπτυσσόμαστε, γιατί έτσι είναι γραμμένα και έτσι θα αναπτυχθούμε. Ότι αυτό είμαστε.

Κάποιες/οι μαθήτριες/τές εντόπισαν το γονίδιο και ως σωματίδιο πάνω στο χρωμόσωμα (1b) και καθόρισαν τις απαντήσεις τους σύμφωνα με την κλασική αυτή θεώρηση του γονιδίου (κλασικό και βιοχημικό-κλασικό μοντέλο).

Μαθήτρια 10: Ε (τα γονίδια) είναι στα χρωμοσώματα; Τώρα δεν ξέρω πως να το απαντήσω αυτό, φαντάζομαι επειδή είναι στα χρωμοσώματα και τα χρωμοσώματα είναι αυτά που θα καθορίσουν άμα θα έχουμε κάποια ασθένεια, άμα θα έχουμε κάποιο χαρακτηριστικό, καθορίζονται από αυτόν..

Μαθήτρια 17: Και πιστεύω ότι είναι κάποια στοιχεία συνδυασμός των χρωμοσωμάτων τις περισσότερες φορές. Όσον αφορά τους ανθρώπους με τα ίδια χαρακτηριστικά, αλλά δεν είναι παρόμοιοι μεταξύ τους, δεν μοιάζουν σαν δυο σταγόνες νερό που λένε.

Λίγες ήταν οι αναφορές στις μεταβλητές των επιστημολογικών χαρακτηριστικών 1a, 1d και 1f, που ανήκουν στο Μεντελικό, το σύγχρονο και το τελευταίο δεν εμπίπτει σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη λειτουργία του, αλλά έχει ανιχνευθεί στα Ελληνικά σχολικά εγχειρίδια Βιολογίας (Christidou & Papadopoulou, 2020).

1a – *Μαθητής 11: Ο κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία λογικά από ότι έχουμε μάθει θα εκφράζονται από γονίδια. Και εφόσον ο κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικά γονίδια ή το ζευγάρι του κάθε ανθρώπου με κάποιον άλλον και φυσικά η ανάμειξή του, δεν ξέρω, τα γονίδια αυτά θα βγάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά δηλαδή πρωτότυπα. Άρα κρατάει την ιδιομορφία: Νομίζω, δεν ξέρω.*

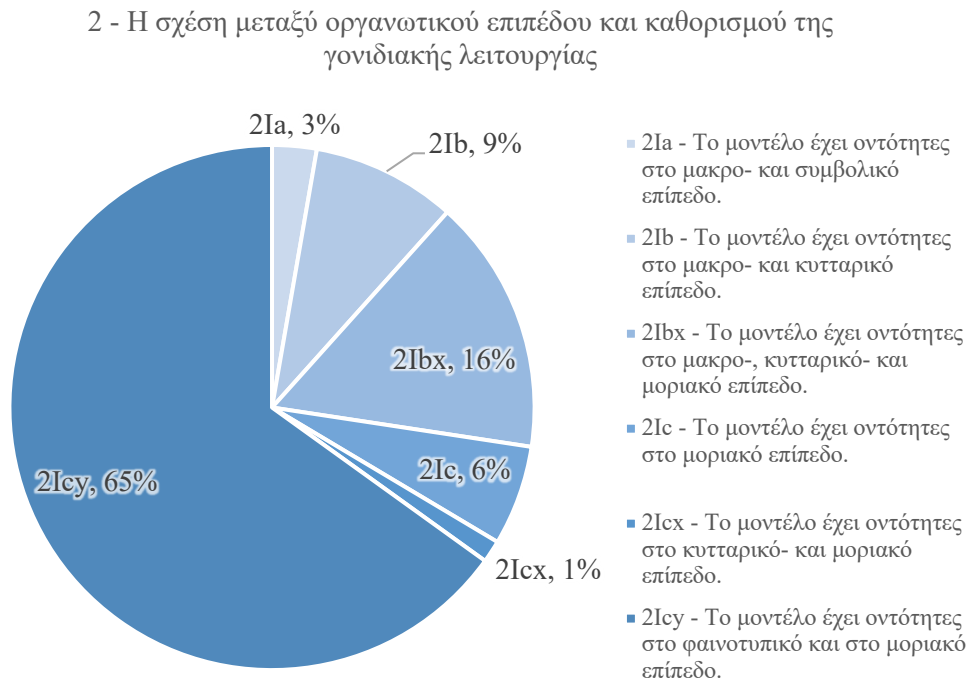
1d – *Μαθήτρια 3: [...] τα εξώνια είναι εκεί πέρα που περιέχεται δηλαδή οι πληροφορίες, και τα εσώνια είναι ένα κομμάτι το οποίο δεν χρησιμοποιείται όντως μετά στη μετάφραση, μετά που κόβεται [...]*

1f – *Μαθήτρια 1: δηλαδή τα υπολειπόμενα [γονίδια] είναι και πιο σπάνια κιόλας δηλαδή μέσα σε μια κοινωνία, αλλά..όπου βέβαια μπορεί να είναι διαφορετικά, δηλαδή ας πούμε στις Σκανδιναβικές χώρες, παρ' όλο που τα γαλάζια μάτια είναι υπολειπόμενο γονίδιο..εεε..επικρατούν, λόγω του κλίματος.*

4.2.1.2 Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2)

Αναφορικά με τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας επικράτησε (65%) στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών (Γράφημα 13), η μεταβλητή που συμπεριλαμβάνει στο μοντέλο οντότητες που υπάρχουνε στο μακρο- και μοριακό επίπεδο (2Icy), η οποία δεν ανήκει σε κάποιο ιστορικό μοντέλο για το γονίδιο για τη γονιδιακή λειτουργία αλλά έχει ανιχνευθεί σε σχολικά εγχειρίδια Βιολογίας της Βραζιλίας (Santos et al., 2012) και στη συνέχεια και στα Ελληνικά (Christidou & Papadopoulou, 2020). Το μακρο-επίπεδο που αφορά το φαινομενολογικό επίπεδο, ή αλλιώς, ότι είναι προσβάσιμο στις ανθρώπινες αισθήσεις

αποτελέσαν στοιχεία του φαινοτύπου όπως εξωτερικά χαρακτηριστικά (χρώμα ματιών, μαλλιών, ύψος, κ.ά.) και αναφορές σε επίπεδο οργανισμού, στο μοριακό επίπεδο λαμβάνονταν υπόψιν αναφορές σε μόρια DNA και πρωτεΐνες.



Γράφημα 13. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 2I (N = 146) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Μαθήτρια 1: [οι αλληλουχίες DNA] να παράγουν μια πρωτεΐνη ή γενικά μια ουσία που μπορεί να χρειάζεται για τη λειτουργία του οργανισμού μας,

Μαθήτρια 5: Ένα γονίδιο από μόνο του δεν μπορεί να επηρεάσει πιστεύω ένα ολόκληρο χαρακτηριστικό μας, αλλά σε συνδυασμό διαφόρων γονιδίων, διάφορων προϊόντων που θα προκύψουν από τα γονίδια, σίγουρα μπορεί.

Μαθητής 9: [...] Αλλά μας δίνει [το γονίδιο] μια πληροφορία για το πως μπορεί να είναι, και είναι αυτό το... που καθορίζει τα χαρακτηριστικά του ατόμου.

Μαθήτρια 18: [...] Και τα γονίδια αυτά μας δίνουν και τα χαρακτηριστικά που έχουμε, όπως τον χρώμα των μαλλιών μας, των ματιών μας...

Οι μαθήτριες/τές συνέδεαν λιγότερο (16%) το οντότητες μεταξύ μακρο-, κυτταρικού- και μοριακού επιπέδου όταν περιγράφανε τη γονιδιακή λειτουργία (2Ibx). Χρησιμοποιούσαν δηλαδή και ένα ενδιάμεσο στάδιο του φαινομενολογικού και του μοριακού επιπέδου, αναφερόμενες/οι σε χρωμοσώματα ή το κύτταρο. Η μαθήτρια 3, για παράδειγμα, εξήγησε την εμφάνιση της ασθένειας της δρεπανοκυτταρική αναιμία (μακρο-επίπεδο), μέσω της μετάλλαξης που συμβαίνει σε αλληλουχία DNA που επηρεάζει τη δομή της παραγόμενης πρωτεΐνης στο μοριακό επίπεδο και κατ' επέκταση στη δομή του ερυθρού κυττάρου.

Μαθήτρια 3: [...] Και έτσι γίνεται GTG και κωδικοποιεί τη βαλίνη. Και έτσι αλλάζει η τρισδιάστατη δομή της πρωτεΐνης, κι έτσι δημιουργείται πρόβλημα και στο..δημιουργήθηκε δρεπανοκυτταρική αναιμία που υπάρχει ένα δρεπανόμορφο σχήμα στα ερυθροκύτταρα και σε όλα αυτά.

Πέρα από τις δύο μεταβλητές που παρουσιάστηκαν, η τρίτη που δεν συναντάται σε κάποιο ιστορικό μοντέλο (2Icx) ανιχνεύθηκε μόνο σε δύο μονάδες ανάλυσης (1%), όπου οι μαθήτριες περιγράφοντας τη γονιδιακή ρύθμιση στο πλαίσιο της κυτταρικής διαφοροποίησης, συνέδεσαν τις τη λειτουργία των κυττάρων με τη γενετική πληροφορία.

Μαθήτρια 3: [...] ξεκινά βασικά με την κυτταρική διαφοροποίηση νομίζω. τα κύτταρα για να εκτελέσουν τις επιμέρους λειτουργίες, ε, έχουν μηχανισμούς, ας πούμε, οι οποίοι τους επιτρέπουν επιλεκτικά, να ακολουθήσουν συγκεκριμένες οδηγίες που μας λέει το γενετικό υλικό. Και έτσι με την επιλεκτική χρήση της γενετικής πληροφορίας και ακολουθώντας οδηγίες που είναι συγκεκριμένες για κάθε χρονική στιγμή, κατορθώνουν να κάνουν συγκεκριμένες λειτουργίες.

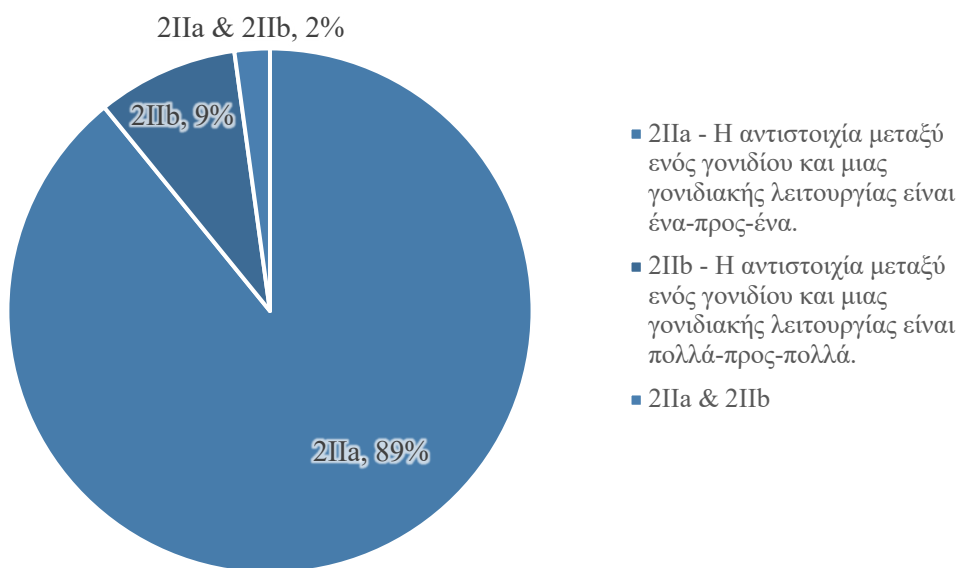
Οι υπόλοιπες τρεις μεταβλητές του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 2I που ανήκουν στο Μεντελικό (2Ia), κλασικό και βιοχημικό-κλασικό (2Ib) και νεοκλασικό και σύγχρονο (2Ic) απαντήθηκαν σε μικρότερα ποσοστά, με το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που ανήκει στο Μεντελικό μοντέλο να είναι το πιο σπάνιο από τα τρία.

Στη δεύτερη κατηγορία του επιστημολογικού χαρακτηριστικού αυτού είναι προφανής η κυριαρχία της αντιστοίχισης των γονιδίων με τη γονιδιακή λειτουργία ένα-προς-ένα (2IIa – 89%) στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών (Γράφημα 14), καθώς η πιο συχνή περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας περιλάμβανε το γονίδιο ως φορέα μιας πληροφορίας για την παραγωγή μια πρωτεΐνης ή υπεύθυνης για την επιρροή ενός χαρακτηριστικού.

Μαθητής 7: [...] [τα γονίδια] σαν πολλές πληροφορίες μαζεμένες, σχετικά με τον οργανισμό. Αλλά όταν λέω πολλές πληροφορίες, μία πληροφορία για κάθε ιδιότητα και χαρακτηριστικό του οργανισμού. [...]

Μαθήτρια 8: Ότι [το γονίδιο] είναι ένα συγκεκριμένο τμήμα πάνω στο DNA, το οποίο δίνει κάποια στιγμή εντολή. [...] Κάποια πρωτεΐνη, ένα ένζυμο.

2 - Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας



Γράφημα 14. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 2II (N = 90) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Αναφορές σε πολυγονιδιακούς χαρακτήρες (μαθήτρια 18) και σε εξώνια και εσώνια (μαθήτρια 3) ως μηχανισμός γονιδιακής λειτουργίας κατηγοριοποιήθηκαν ως 2IIb.

Μαθήτρια 18: Το χρώμα ματιών νομίζω είναι και πολυγονιδιακός χαρακτήρας, δεν είναι μονογονιδιακός, οπότε είναι πολλοί παράγοντες που μπορεί να το καθορίσουν το τελικό χρώμα ματιού. [...]

Μαθήτρια 3: τα γονίδια είναι τμήματα DNA ή RNA σε κάποιους ιούς, χωρίς να είναι ασυνεχή, χωρίς να είναι απαραίτητα συνεχόμενα, μπορεί να είναι και

ασυνεχή όπως υπάρχουν στον άνθρωπο, και στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς γενικότερα.

Σε δύο περιπτώσεις αναφέρθηκαν συνδυασμοί γονιδίων για την έκβαση της γονιδιακής λειτουργίας (2Πb), αλλά ταυτόχρονα έγινε αντιστοίχιση του γονιδίου με φαινοτυπικό χαρακτηριστικό όπως το χρώμα των ματιών (2Πa) όπως φαίνεται στα λεγόμενα της μαθήτριας1 ή όπως ο μαθητής 4 που περιέγραψε τη λειτουργία του γονιδίου με την παραγωγή ενζύμου ως ένα-προς-ένα, αναγνωρίζοντας, ωστόσο, και την επίδραση τη λειτουργίας του ενός γονιδίου στη λειτουργία άλλων.

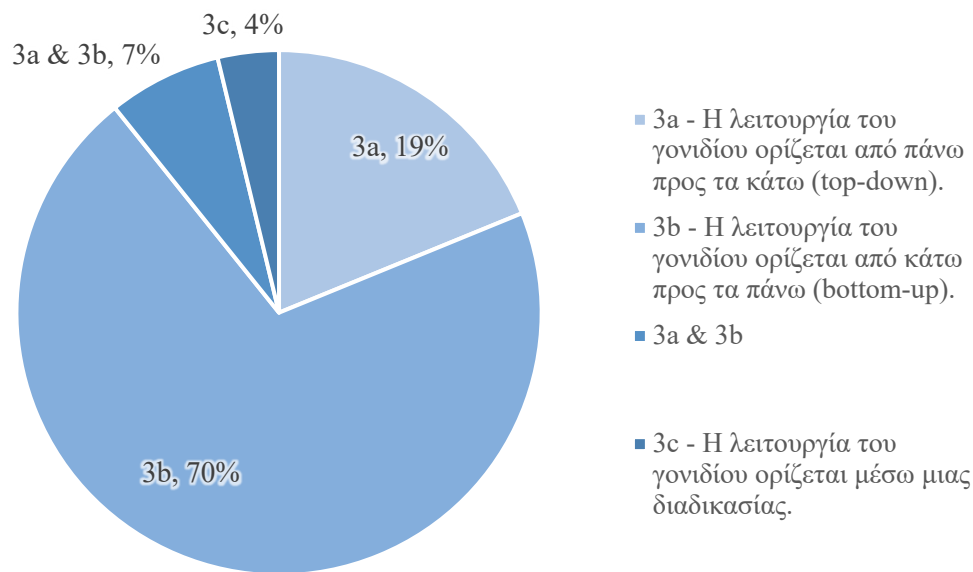
Μαθήτρια 1: Βασικά..πιστεύω ότι στα χαρακτηριστικά..εεε..δεν οφείλεται ένα γονίδιο αλλά πολλά γονίδια, ένας συνδυασμός γονιδίων, και..εεε..ότι [παύση] μπορεί, αν ας πούμε έχουμε..ε..ένα γονίδιο, ας πούμε αν τα μάτια ήταν από, για ένα, οφειλόντουσαν σε ένα γονίδιο, αν η μητέρα μου μού είχε δώσει το γονίδιο για πράσινα μάτια, και ο πατέρας μου το γονίδιο για μπλε μάτια, ουσιαστικά επειδή και τα δύο δεν είναι επικρατή, θα γινόταν μία μίξη πάνω-κάτω. Δηλαδή γενικά τα χαρακτηριστικά είναι πιο...εεε...γενικά, δηλαδή..μπορείς, μπορεί πιο εύκολα να υπάρχουν μίξεις απ' ότι σε πρωτεΐνες.

Μαθητής 4: [...] Όπως γίνεται στους προκαρυωτικούς οργανισμούς, τα οπερόνια, όπου ένα γονίδιο είναι υπεύθυνο για τη μεταγραφή και τη μετάφραση ενός ενζύμου το οποίο βοηθάει ή στο να παραχθούν άλλα γονίδια που είναι απαραίτητα για τον οργανισμό, ή για την καταστολή του.

4.2.1.3 Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (3)

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που περιγράφει την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας είναι το δεύτερο σε συχνότητα χαρακτηριστικό που ανιχνεύθηκε στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών (Γράφημα 10). Στο Γράφημα 15 φαίνεται η κατανομή των χαρακτηριστικών που εντοπίστηκαν, με τον ορισμό της γονιδιακής λειτουργίας να ξεκινά από το γονίδιο να υπερισχύει (3b - 70%), ενώ το χαρακτηριστικό/παράγωγο αυτής να αποτελεί το σημείο εκκίνησής της (3a) να ακολουθεί σε συχνότητα (19%). Αυτό είναι και κάτι που παρατηρείται στη βιβλιογραφία (Gericke & Hagberg, 2010b).

3 - Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας



Γράφημα 15. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 3 ($N = 173$) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Η μαθήτρια 2, για παράδειγμα, αναφέρεται στο πώς τα γονίδια επηρεάζουν το αποτέλεσμα της εμφάνισης του ανθρώπινου οργανισμού, ενώ η μαθήτρια 10 αποδίδει ασθένειες και χαρακτηριστικά των οργανισμών στους προγόνους τους μέσω του γενετικού υλικού.

Μαθήτρια 2: οι αλληλουχίες του DNA, νομίζω πως αυτά είναι ουσιαστικά που.. συμβάλλουν.. Εεμ..οπότε πάμε από το επίπεδο.. του γονιδίου, και τελικά έχουμε ένα αποτέλεσμα που μπορεί να είναι και σε επίπεδο εμφάνισης... οργανισμού. Και άλλα χαρακτηριστικά, μέγεθος, σχήμα χρώμα..εε..μήκος.

Μαθήτρια 10: [...] φαντάζομαι επειδή [τα γονίδια] είναι στα χρωμοσώματα και τα χρωμοσώματα είναι αυτά που θα καθορίσουν άμα θα έχουμε κάποια ασθένεια, άμα θα έχουμε κάποιο χαρακτηριστικό, καθορίζονται από αυτόν.

Ανιχνεύθηκε και συνδυασμός των δύο αυτών μεταβλητών του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 3 (3a & 3b) όπως φαίνεται στο λόγο του μαθητή 15:

Μαθητής 15: Εάν παράδειγμα κάποιος από τους δύο γονείς ή ακόμα και κάποιος από τους παππούδες, από τους προγόνους κιόλας, έχει κάποια ασθένεια, έχει αποθηκευτεί αυτό στο γενετικό υλικό. Υπάρχει περίπτωση να το αποκτήσει και το παιδί. Έχω καταλάβει βασικά ότι σχηματιζόμαστε με βάση αυτό το γενετικό υλικό που έχουμε πάρει απ' τον μπαμπά και τη μαμά μας.

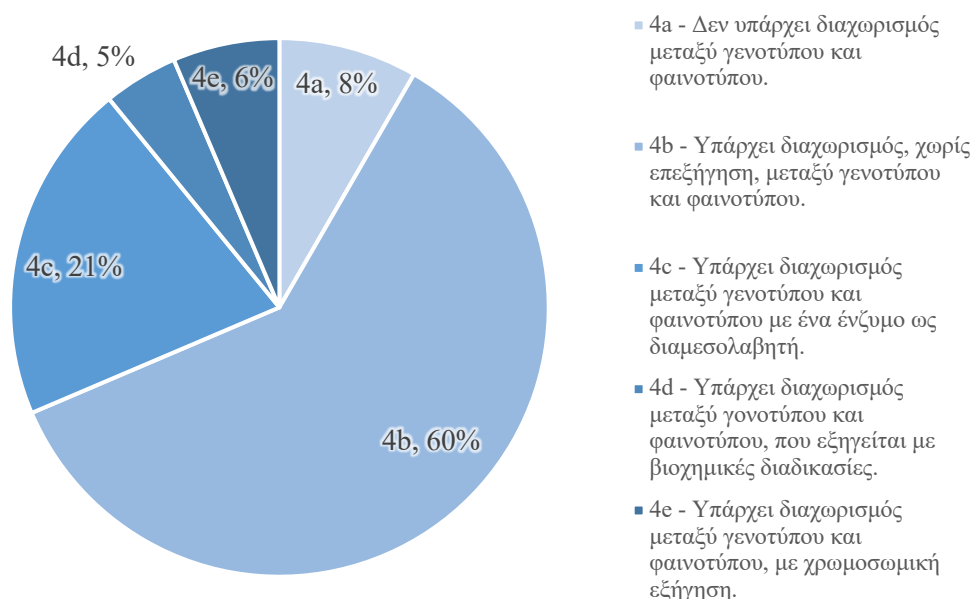
Τέλος, ο ορισμός της γονιδιακής λειτουργίας μέσω μιας διαδικασίας (3c) που αποτελεί πιο σύγχρονη θεώρηση, συναντήθηκε λίγες φορές, όπου οι μαθήτριες/τές ανέπτυσαν τη διαδικασία σε μοριακό επίπεδο της γονιδιακής λειτουργίας.

Μαθητής 11: Είναι μια αλληλουχία η οποία πρώτα θα μεταγραφεί ως μία mRNA αλυσίδα και έπειτα αυτή η mRNA αλυσίδα θα προχωρήσει σε ριβοσώματα. Και θα μεταφραστεί... [...] η 5' αμετάφραστη συνδέεται με το rRNA της μικρής ριβοσωμικής υπομονάδας. Έπειτα, συνδέεται και η μεγάλη ριβοσωμική υπομονάδα και έρχεται το κάθε tRNA, αρχίζουμε από μεθειονίνη πάντα. Και όταν έρχεται το κάθε tRNA και πηγαίνει στην πρώτη θέση της μεγάλης ριβοσωμικής υπομονάδας με το αντικωδικόνιο του, διαβάζει το ριβόσωμα το mRNA, κωδικόνιο-κωδικόνιο. Και έτσι δημιουργείται μια πολυπεπτιδική αλυσίδα. Αυτό είναι η μετάφραση.

4.2.1.4 Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4)

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό τέσσερα περιγράφει τη σχέση γονοτύπου και φαινοτύπου σε σχέση με το αν διαχωρίζονται από τις/τους μαθήτριες/τές. Το πιο συχνό χαρακτηριστικό (Γράφημα 16) ήταν το 4b (60%) που ανήκει στο κλασικό μοντέλο και αντιστοιχεί στο διαχωρισμό του γονοτύπου και του φαινοτύπου, χωρίς επεξήγηση πώς συμβαίνει αυτό. Αμέσως μετά σε συχνότητα ανιχνεύθηκε το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που εξηγεί τον διαχωρισμό αυτό μέσω ενζύμων ως διαμεσολαβητές (4c – 21%) που ανήκει στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο, ενώ ακολούθησαν σε πολύ μικρά ποσοστά το 4a (8%) κατά το οποίο δεν υπάρχει διαχωρισμός γονοτύπου – φαινοτύπου (Μεντελικό μοντέλο), το 4e (6%) που περιγράφει το διαχωρισμό με χρωμοσωμική εξήγησή (κλασικό μοντέλο) και το 4d (5%) που η περιγραφή δίνεται μέσω βιοχημικών διαδικασιών (νεοκλασικό και σύγχρονο μοντέλο).

4 - Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου



Γράφημα 16. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 4 ($N = 156$) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι μαθήτριες/τές δεν συμπεριέλαβαν εξήγηση για το διαχωρισμό γονότυπου – φαινοτύπου (4b) όπως ο μαθητής 11 και μαθήτρια 17, ενώ όταν το έκαναν ήταν συνήθως είτε μέσω ενζύμων ή πρωτεϊνών (4c), όπως ο μαθητής 9 και η μαθήτρια 4.

Μαθητής 11: Πιστεύω θα έχει, θα έχουν οι γονείς τα γονίδιά τους τα οποία το ένα θα εκφράζει ας πούμε για παράδειγμα καφέ χρώμα και το άλλο μαύρο. Και κάποιο από αυτά θα κληρονομήσει το παιδί ok.

Μαθήτρια 17: Ε, γονότυπος είναι ας πούμε το Α που είναι το κεφάλαιο που είναι το επικρατές αλληλόμορφο γονίδιο, που αφορά τα ψηλά φυτά και το α το μικρό που είναι το υπολειπόμενο αλληλόμορφο γονίδιο, που αφορά τα κοντά φυτά που είναι.. αχ, πώς λέγονται... Όχι αλληλόμορφα...

Ο μαθητής 9 αναφέρθηκε στην παραγωγή πρωτεϊνών από πληροφορίες που φέρουν τα γονίδια και με αυτό τον τρόπο γίνεται ο καθορισμός των χαρακτηριστικών και λειτουργιών ενός ατόμου, όπως και η μαθήτρια 4 που απέδωσε την εξωτερική εμφάνιση του ανθρώπου σε ένζυμα ή πρωτεΐνες που εκφράζονται από αλληλουχίες βάσεων που αποτελούν το γονίδιο.

Μαθητής 9: Οπότε τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που φέρει ένας άνθρωπος, ας πούμε, με έναν άλλο· Ε, είναι αυτό, με τα γονίδια, το καθένα φέρει διαφορετικές πληροφορίες που μετά γίνονται πρωτεΐνες, οπότε... Και με τα αλληλόμορφα γονίδια που ουσιαστικά καθορίζουν τον απόγονο, τον πιθανό απόγονο, θα έρθουν και διαφορετικά αποτελέσματα στον καθένα. Οπότε έχει σημασία και γονιός, ας πούμε, του ενός ατόμου για να καθορίζει τα χαρακτηριστικά του και πιθανές λειτουργίες του οι ανωμαλίες που θα έχει στο σώμα του.

Μαθήτρια 4: [Το γονίδιο] Δηλαδή είναι μια αλληλουχία βάσεων που βοηθάει και το κύτταρο να λειτουργεί και να επιτελεί τις λειτουργίες του σωστά, και για να εκφραστούν διάφορα ένζυμα, πρωτεΐνες που είναι απαραίτητα για τον οργανισμό. Και πολλές φορές καθορίζουν και το εξωτερικό, την εξωτερική εμφάνιση του ανθρώπου.

Ο μη διαχωρισμός του γονότυπου – φαινότυπου (4a) εμφανίστηκε σε μονάδες ανάλυσης όπου οι μαθήτριες/τές εξίσωναν τις δύο αυτές έννοιες, όπως ο μαθητής 15, η χρωμοσωμική εξήγηση του διαχωρισμού τους (4e) φαίνεται στα λόγια της μαθήτριας 12 που εξηγεί την ομοιότητα γονέων και απογόνων, και τέλος, στο απόσπασμα της συνέντευξης της μαθήτριας 8 φαίνεται ένα παράδειγμα του διαχωρισμού γονοτύπου-φαινοτύπου μέσω περιγραφής των βιοχημικών διαδικασιών (4d) της μεταγραφής και της μετάφρασης.

Μαθητής 15: Ο φαινότυπος... Νομίζω το κληρονομούμε από τους γονείς μας.

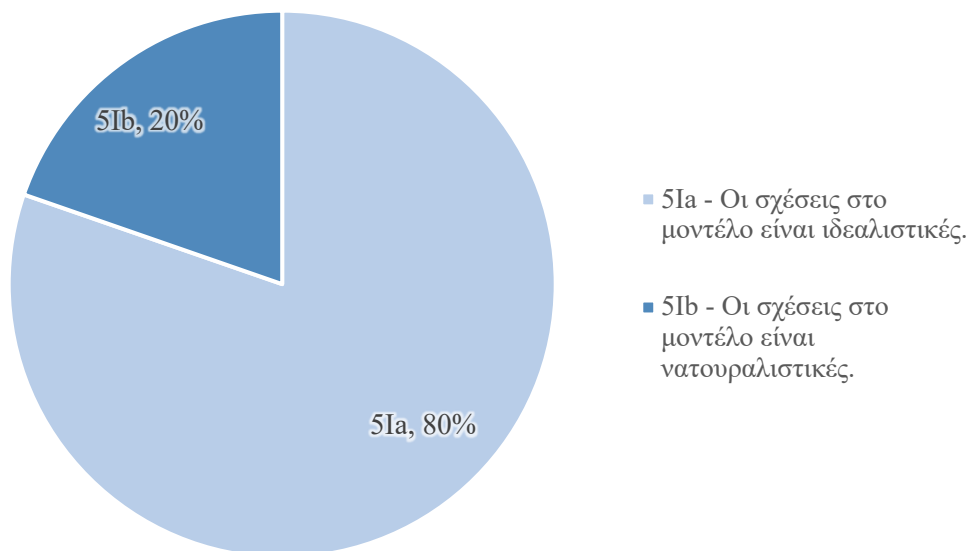
Μαθήτρια 12: Ε, ναι νομίζω πως ένα παιδί παίρνει ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων από κάθε γονέα και έτσι δημιουργούνται και τα δικά του χαρακτηριστικά.

Μαθήτρια 8: Αρχικά κάθε γονίδιο είναι μία συγκεκριμένη αλληλουχία από νουκλεοτίδια τα οποία, έτσι όπως το έχω καταλάβει εγώ, σχηματίζουν έναν κωδικό. Έναν διαφορετικό κωδικό για κάθε ιδιότητα, όποιος οπότε είναι απαραίτητο εκφράζεται. Είτε μέσω της μεταγραφής και μετάφρασης, είτε για... ναι, της μεταγραφής βασικά. Όπως για τα γονίδια, για τα ένζυμα tRNA, rRNA, είτε προς mRNA και μετά σε πρωτεΐνες, δίνοντας αυτό τον φαινότυπο. Αυτό, είναι ουσιαστικά κάποιοι κωδικοί.

4.2.1.5 Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα (5)

Στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών επικράτησε η περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων του μοντέλου της γονιδιακής λειτουργίας ως ιδεαλιστικών σχέσεων με αφηρημένη ή καμία σύνδεση με φυσικές διαδικασίες (5Ia – 80%), έναντι των βιοχημικών διαδικασιών (5Ib – 20%) (Γράφημα 17). Οι ιδεαλιστικές σχέσεις εμφανίζονται στο Μεντελικό μοντέλο, στο κλασικό και το βιοχημικό-κλασικό, ενώ στο νεοκλασικό και στο σύγχρονο οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων εμφανίζονται νατουραλιστικές.

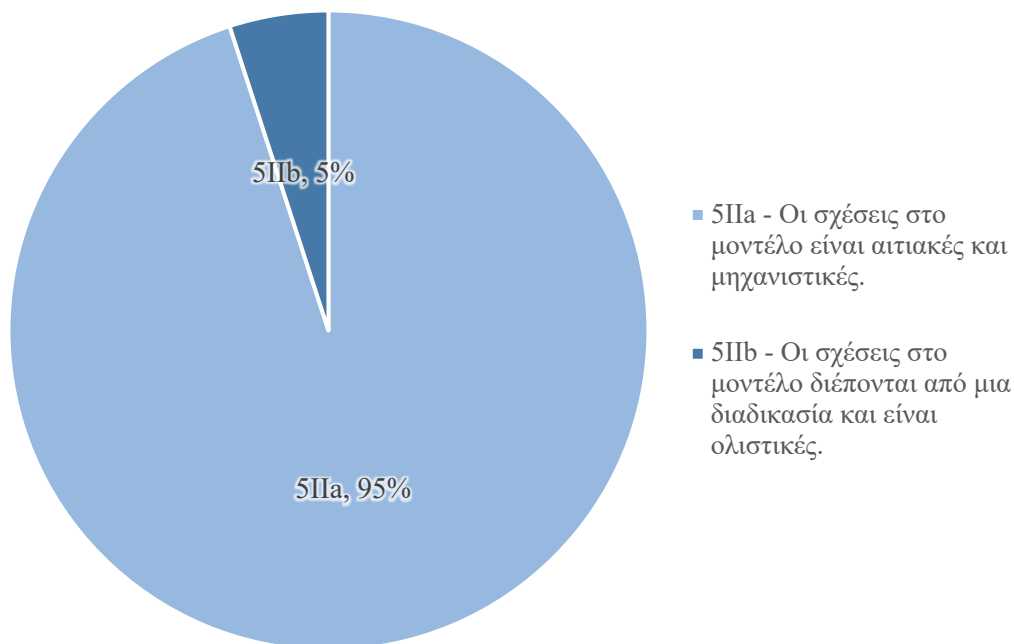
5 - Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα



Γράφημα 17. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 5I (N = 127) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Οι περισσότερες/οι μαθήτριες/τές περιέγραψαν τη γονιδιακή λειτουργία με όρους αιτιώδους και μηχανιστικής σχέσης (5IIa – 95%) (Γράφημα 18) της οποίας κεντρική θεώρηση είναι ότι «το γονίδιο καθορίζει ένα χαρακτήρα/χαρακτηριστικό» που εμπίπτει στα πρώτα τέσσερα ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό και νεοκλασικό), ενώ λίγες/οι χρησιμοποίησαν βιοχημικές διεργασίες και ολιστικές περιγραφές (5IIb – 5%), όπου τα γονίδια λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο σε διαφορετικά πλαίσια (δηλ. σε διαφορετικά κύτταρα και οργανισμούς) και οι διαδικασίες θεωρούνται πιο δυναμικές και όχι ντετερμινιστικές, στοιχεία που υπάρχουν στο σύγχρονο μοντέλο.

5 - Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα



Γράφημα 18. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 5II (N = 140) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Οι οντότητες στο μοντέλο που περιγράφει η μαθήτρια 3, μια αιτιακή σχέση του γονιδίου με το φαινότυπο του χρώματος των μαλλιών (5IIa) και παραλείπει την επεξήγηση της σύνδεσής τους βιοχημικά, καθιστώντας τη σχέση τους ιδεαλιστική (5Ia). Αυτός ο συνδυασμός των δύο χαρακτηριστικών συναντάται στο Μεντελικό, το κλασικό μοντέλο και στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο.

Μαθήτρια 3: τα αλληλόμορφα γονίδια, τα οποία.. είναι το γονίδιο πρακτικά, απλά είναι δύο διαφορετικοί.. δύο.. πώς να το πώ· δύο διαφορετικά.. μάς δίνουν δύο διαφορετικές οδηγίες. [...] ο ένας μπορεί να μας λέει να γίνουμε μελαχρινοί, ο άλλος μπορεί να μας λέει να γίνουμε ξανθοί.

Ο συνδυασμός του 5Ib με το 5IIa, που ανήκει στο νεοκλασικό μοντέλο ήταν και ο πιο συχνός στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, σε αντίθεση με το 5Ib και 5IIb, όπως η μαθήτρια 8 που περιγράφει μέσω βιοχημικής διαδικασίας τη γονιδιακή λειτουργία, ενώ αναφέρεται στα «γονίδια για τα ένζυμα» που «δίνουν» έναν φαινότυπο, καθαρά σχέση αιτίου – αποτελέσματος.

Μαθήτρια 8: Αρχικά κάθε γονίδιο είναι μία συγκεκριμένη αλληλουχία από νουκλεοτίδια τα οποία, έτσι όπως το έχω καταλάβει εγώ, σχηματίζουν έναν

κωδικό. Έναν διαφορετικό κωδικό για κάθε ιδιότητα, όποιος οπότε είναι απαραίτητο εκφράζεται. Είτε μέσω της μεταγραφής και μετάφρασης, είτε για... ναι, της μεταγραφής βασικά. Όπως για τα γονίδια, για τα ένζυμα, tRNA, rRNA, είτε προς mRNA και μετά σε πρωτεΐνες, δίνοντας αυτό τον φαινότυπο. Αυτό, είναι ουσιαστικά κάποιοι κωδικοί.

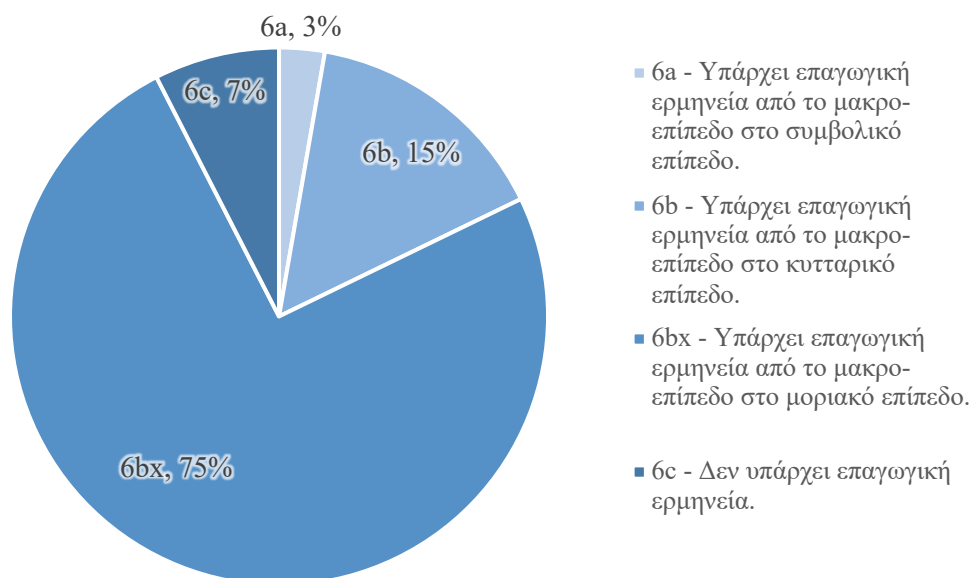
Πολύ λίγες ήταν καταγραφές του 5Πb επιστημολογικού χαρακτηριστικού καταγράφηκαν όπως η μαθήτρια 6 που αναφέρεται στην ευελιξία των κυττάρων και σε ρυθμιστικούς μηχανισμούς στη γονιδιακή λειτουργία που ενεργοποιούνται κατά περίπτωση:

Μαθήτρια 6: Καταρχάς δεν εκφράζονται όλα τα γονίδια πάνω στο γονιδίωμα ενός ανθρώπου, κάθε χρονική στιγμή. Αλλά κάθε κύτταρο ούτε θέλει να σπαταλάει ενέργεια ούτε να υπολειτουργεί. Οπότε έχει αναπτύξει κάποιος μηχανισμούς που ρυθμίζουν την έκφραση των γονιδίων, έτσι ώστε να παράγουν την απαραίτητη ποσότητα κάθε πρωτεΐνης, ή να δίνουν τις απαραίτητες εντολές τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

4.2.1.6 Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας (6)

Στην πλειοψηφία των αντιλήψεων των μαθητριών (Γράφημα 19) υπάρχει παρουσία επαγωγικής ερμηνείας από το μακρο-επίπεδο στο μοριακό επίπεδο (6bx – 75%), μεταβλητή που κυριαρχεί σε θεματικές ή κεφάλαια βιοχημείας σε σχολικά εγχειρίδια βιολογίας σύμφωνα με τους Gericke και Hagberg (2010b) και δεν ανήκει σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία. Η σύνδεση των δύο αυτών οργανωτικών επιπέδων συνήθως συνδεόταν και με τα επίπεδα των οντοτήτων που χρησιμοποιούσαν οι μαθήτριες/τές περιγράφοντας τη γονιδιακή λειτουργία, που συνήθως ήταν το φαινοτυπικό και το μοριακό (2Icy). Λιγότερο συχνή ήταν η επαγωγική ερμηνεία από το μακρο-επίπεδο στο κυτταρικό (6b – 15%), να μην υπάρχει καθόλου (6c – 7%) εφόσον όλες οι οντότητες περιγράφονται στο μοριακό επίπεδο (2Ic), ή να ερμηνεύεται η γονιδιακή λειτουργία σε συμβολικό επίπεδο (6a – 3%).

6 - Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας



Γράφημα 19. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 6 ($N = 146$) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Ο μαθητής 15 συνδέει μια ασθένεια που ανήκει στο φαινοτυπικό, μακρο-επίπεδο με αποθηκευμένη πληροφορία στο γενετικό υλικό του μοριακού επιπέδου (6bx). Η μαθήτρια 3 εξηγεί πως τη δομή και λειτουργία του οργανισμού (μακρο-επίπεδο) την καθορίζει το γενετικό υλικό (μοριακό επίπεδο).

Μαθητής 15: Εάν παράδειγμα κάποιος από τους δύο γονείς ή ακόμα και κάποιος από τους παππούδες, από τους προγόνους κιόλας, έχει κάποια ασθένεια, έχει αποθηκευτεί αυτό στο γενετικό υλικό. Υπάρχει περίπτωση να το αποκτήσει και το παιδί. Έχω καταλάβει βασικά ότι σχηματιζόμαστε με βάση αυτό το γενετικό υλικό που έχουμε πάρει απ' τον μπαμπά και τη μαμά μας.

Μαθήτρια 3: το γενετικό υλικό είναι...ε..είναι το DNA. Το οποίο το DNA είναι σαν να λέμε οι οδηγίες, οι ακριβείς οδηγίες που έχει ο κάθε οργανισμός, για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του. Δηλαδή καθορίζει και τη δομή του ατόμου και τις λειτουργίες που θα κάνει [...]

Η μαθήτρια 6 αναφέρει ότι η διαφοροποίηση στους γαμέτες των οργανισμών «φτιάχνουν» διαφορετικούς οργανισμούς κάνοντας μια επαγωγή από το μακρο-επίπεδο (οργανισμός) στο κυτταρικό (γαμέτες) (6b). Η μαθήτρια 18, ωστόσο, χρησιμοποιεί στην

εξήγησή της μόνο οντότητες στο μοριακό επίπεδο, οπότε δεν υπάρχει επαγωγική ερμηνεία. (6c). Ακόμα, ένα παράδειγμα από τις λίγες περιγραφές όπου υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- στο συμβολικό επίπεδο (6a) αφορά την περιγραφή της μαθήτριας 14 του χρώματος μαλλιών και δέρματος, τα οποία τα αποδίδει σε «κάτι» που παίρνει ένας άνθρωπος από τους γονείς του.

Μαθήτρια 6: [...] Και με τα πειράματα του διαπίστωσε ότι ποτέ δεν γίνεται να είναι ένα σπερματοζωάριο όλο ίδιο με το άλλο, Ή ένα ωάριο ολόιδιο με το άλλο, και να φτιάξουν πολλούς ολόιδιους οργανισμούς. Πάντα θα υπάρχουνε οι διαφορές. [...]

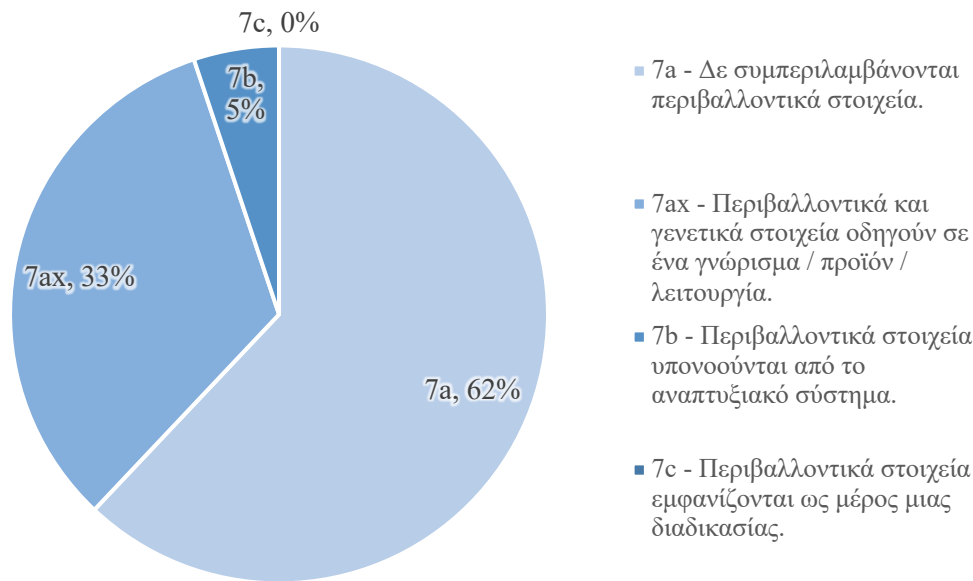
Μαθήτρια 18: τα γονίδια κωδικοποιούνται, μεταγράφονται, μεταφράζονται και δημιουργούνται πρωτεΐνες οι οποίες πρωτεΐνες βοηθάνε στην... Αυτές οι πρωτεΐνες βοηθάνε στη δημιουργία χρωστικών ουσιών, αυτό εννοώ κυρίως.

Μαθήτρια 14: Η αδερφή μου είναι πορτοκαλί. Είναι φυσική. [σημ. ερ.: χρώμα μαλλιών] Ναι. Κι είναι και πολύ λευκή [σημ. ερ.: χρώμα δέρματος] Υποθέτω για να έγινε αυτό πήρε κάτι από το μπαμπά και κάτι από τη μαμά, τα οποία ταυτίστηκαν και βγήκε έτσι. Δεν ξέρουμε πώς δεν το έχουμε σκεφτεί, δεν το έχουμε ψάξει.

4.2.1.7 Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων (7)

Στην πλειοψηφία των μονάδων ανάλυσης οι μαθήτριες/τές δεν συμπεριλάμβαναν περιβαλλοντικά στοιχεία (7a – 62%) όταν αναφέρονταν στη γονιδιακή λειτουργία, ενώ αρκετές/οί περιέγραφαν ένα γνώρισμα/ προϊόν/ λειτουργία ως αποτέλεσμα συμβολής από κοινού περιβαλλοντικών και γενετικών στοιχείων ως ανεξάρτητων παραγόντων (7ax – 33%) (Γράφημα 20). Λίγες/οι ενσωμάτωναν στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας ρυθμιστικά στοιχεία που υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα (7b – 5%), ενώ δεν υπήρξε καμία καταγραφή της μεταβλητής που περιγράφει τα περιβαλλοντικά στοιχεία ως μέρος μιας διαδικασίας (7c – 0%) και αναφέρεται σε σύγχρονες έννοιες στη γενετική όπως η επιγενετική.

7 - Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων



Γράφημα 20. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 7 ($N = 195$) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Η έλλειψη περιβαλλοντικών στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας (7a), που ανήκει στα πρώτα τρία ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό) είναι εμφανής από τα παρακάτω παραδείγματα. Η μαθήτρια 5 περιγράφει μέσω βιοχημικής διαδικασίας την παραγωγή μιας πρωτεΐνης, όπως η μελανίνη, με ντετερμινιστικό τρόπο και χωρίς να αναφέρεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αντίστοιχα, ο μαθητής 9, αποδίδει το φαινότυπο ενός ανθρώπου αποκλειστικά στα αλληλόμορφα γονίδια, όπως παράλληλα και η μαθήτρια 12.

Μαθήτρια 5: Στη συνέχεια με τη βοήθεια του mRNA... με τη βοήθεια ριβοσωμάτων να μεταγράφονται σε RNA και από κει να προκύπτει μία πρωτεΐνη, όπου θα είναι χρήσιμη για τον οργανισμό μας. Επίσης ένα γονίδιο με μία συγκεκριμένη... Με κάποιες συγκεκριμένες αλληλουχίες μπορεί να κωδικοποιεί ε ε ε... μπορεί να κωδικοποιεί τα χαρακτηριστικά που έχει ένας άνθρωπος, όπως για παράδειγμα, την παραγωγή μελανίνης

Μαθητής 9: Φαινότυπος είναι τα χαρακτηριστικά ενός ανθρώπου, ή μάλλον οργανισμού πιο συγκεκριμένα, τα οποία δεν μας δίνουν να, μια ακριβή ιδέα του πώς είναι, για το γονότυπο του οργανισμού, αλλά παίρνουμε μια ιδέα για το τι θα

μπορούσε... γιατί πάντα υπάρχει το υπολειπόμενο ας πούμε αλληλόμορφο. Αλλά μας δίνει μια πληροφορία για το πως μπορεί να είναι, και είναι αυτό το... που καθορίζει τα χαρακτηριστικά του ατόμου.

Μαθήτρια 12: Μέσω των γονιών, το γονίδιο του κάθε γονέα περνάει στο παιδί και αυτό, η αλληλουχία DNA που έχει ίσως καθορίζει ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό και επειδή συνδυάζονται προκύπτει ίσως εκείνο το χαρακτηριστικό. Δηλαδή νομίζω πως το DNA καθορίζει το χαρακτηριστικό ή διαφορετική αλληλουχία.

Παρά την αρχική απόκριση των μαθητριών/τών να μη συμπεριλάβουν περιβαλλοντικούς παράγοντες στις περιγραφές τους, όταν γινόταν ρητή ερώτηση για το ρόλο περιβαλλοντικών παραγόντων στη γονιδιακή λειτουργία, τότε συνήθως το αποτέλεσμα ήταν η μεταβλητή 7ax, που δεν ανήκει σε κάποιο ιστορικό μοντέλο για τη γονιδιακή λειτουργία. Στην περίπτωση της μαθήτριας 14, αποδίδει το φαινότυπο του χρώματος του δέρματος ως αποτέλεσμα από κοινού του DNA των ανθρώπων και από εξωτερικούς παράγοντες όπως η περιοχή στην οποία ζουν.

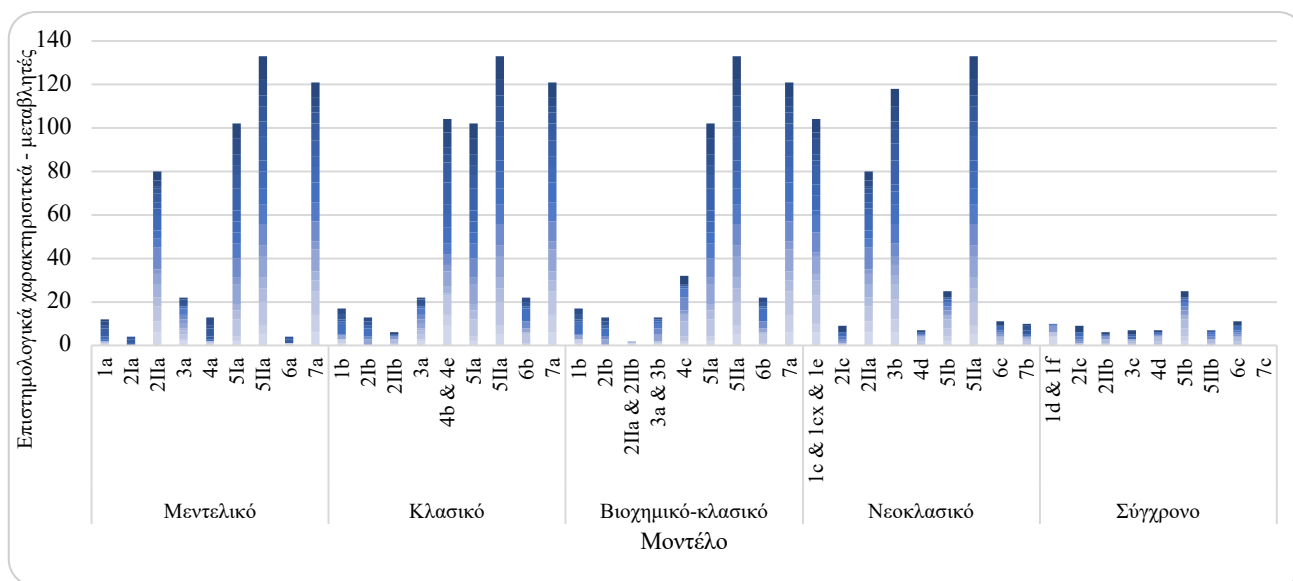
Μαθήτρια 14: Γενικά νομίζω ότι αυτό που έχουμε εμείς στο DNA μας είναι σταθερό, δηλαδή δεν αλλάζει, δεν καθορίζεται από κάποιους εξωτερικούς παράγοντες. Αλλά ας πούμε το χρώμα του δέρματός μας, αυτό μπορεί να επηρεαστεί από το ποια περιοχή ζούμε. Ας πούμε άλλοι είναι πιο σκουρόχρωμοι, άλλοι πιο ανοιχτόχρωμοι, αλλά αυτό νομίζω ότι έχει να κάνει με αυτό, όχι τόσο με το DNA μας και το πώς διαμορφώνεται.

Περιορισμένες αναφορές σε περιβαλλοντικά στοιχεία που υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα (7b), επιστημολογικό χαρακτηριστικό του νεοκλασικού μοντέλου, όπως της μαθήτριας 5 αφορούν τη ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης σε αυτό.

Μαθήτρια 5: [...] Κάποια γονίδια εκφράζονται σε συγκεκριμένη ηλικία. Υπάρχουν συγκεκριμένα γονίδια που εμφανίζονται κατά την ηλικία των.. της εφηβείας, που έχουν να κάνουν με τις ορμόνες και όλα αυτά. [...]

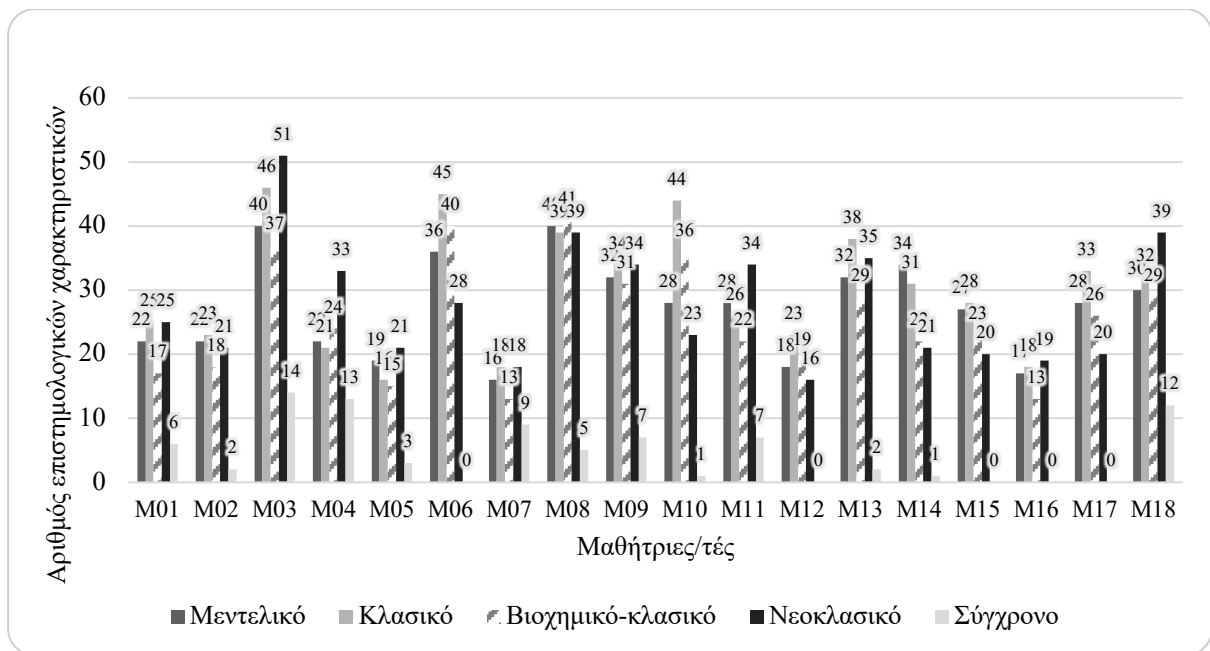
4.2.2 Ιστορικά μοντέλα στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών

Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά-παραλλαγές χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την περιγραφή των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά ανά μαθήτρια/τή κατατάχθηκαν στις πέντε κατηγορίες των ιστορικών μοντέλων: την κατηγορία Μεντελικού, την κατηγορία του κλασικού μοντέλου, κατηγορία βιοχημικού-κλασικού μοντέλου, την κατηγορία νεοκλασικού μοντέλου και την κατηγορία σύγχρονου μοντέλου (Γράφημα 21). Τα κοινά επιστημολογικά-χαρακτηριστικά των μοντέλων συνυπολογίστηκαν σε κάθε μία από τις κατηγορίες μοντέλων στις οποίες ανήκαν. Από το Γράφημα 21 φαίνεται η συχνότητα των χαρακτηριστικών ανά μοντέλο για το σύνολο των πληροφορητριών/τών, και γίνεται προφανές πως τα πρώτα τέσσερα ιστορικά μοντέλα αντιπροσωπεύονται από περισσότερα επιστημολογικά χαρακτηριστικά από ότι το σύγχρονο, ενώ σε όλες τις κατηγορίες ανιχνεύθηκαν χαρακτηριστικά. Ακόμα, αναδεικνύονται οι συχνότητες των αποκλειστικών για το κάθε μοντέλο χαρακτηριστικών.



Γράφημα 21. Επιστημολογικά χαρακτηριστικά ($N = 1316$) ανά μοντέλο, όπως εμφανίζονται στις αντιλήψεις μαθητριών/τών.

Στην αναλυτική παρουσίαση των ιστορικών μοντέλων ανά μαθήτρια/τη (Γράφημα 22) παρουσιάζονται τα μοντέλα που εμφανίζονται στις αντιλήψεις τους με βάση τις αντιπροσωπευτικές τους μεταβλητές. Εκτός από το σύγχρονο μοντέλο που απουσιάζει από τις αντιλήψεις μερικών μαθητριών/τών, τα υπόλοιπα τέσσερα μοντέλα ανιχνεύονται από τα κοινά και αποκλειστικά/μοναδικά τους χαρακτηριστικά.

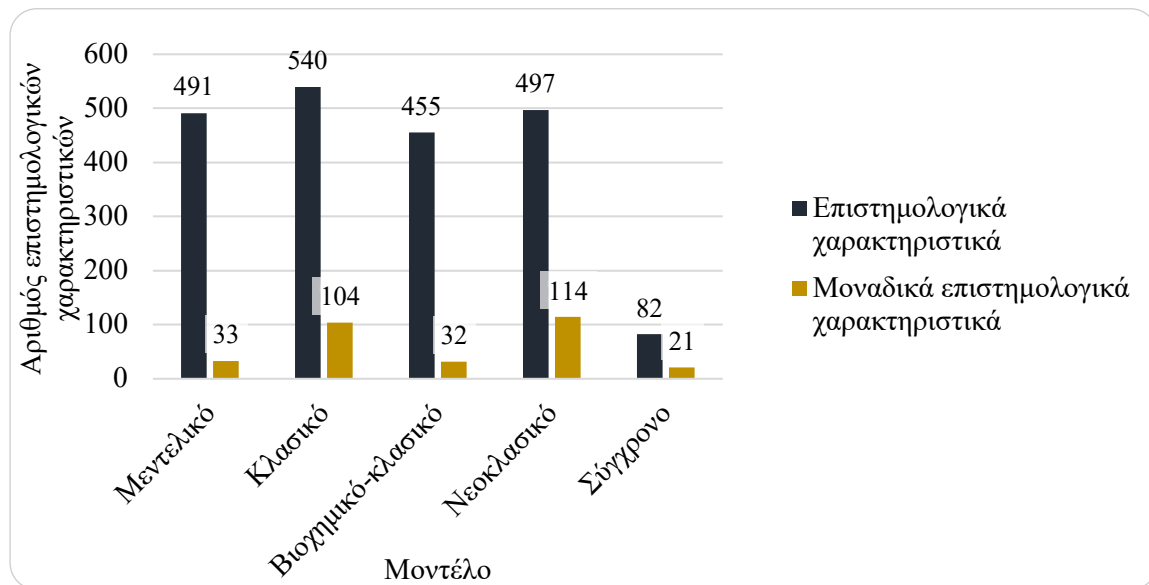


Γράφημα 22. Επιστημολογικά χαρακτηριστικά ανά ιστορικό μοντέλο, ανά μαθήτρια/τή (N = 1316)

Στο Γράφημα 23, όπου αναδεικνύονται συνολικά τα ιστορικά μοντέλα στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών παρατηρείται ανάλογη εικόνα, τα τέσσερα πρώτα ιστορικά μοντέλα να υπερिशύουν σε αριθμό επιστημολογικών χαρακτηριστικών που τα αντιπροσωπεύουν. Συγκεκριμένα, για κλασικό μοντέλο ανιχνεύθηκαν 540 επιστημολογικά χαρακτηριστικά, για το νεοκλασικό 497 μεταβλητές, για το Μεντελικό 491 και τέλος, για το βιοχημικό-κλασικό 445. Για το σύγχρονο μοντέλο εντοπίστηκαν 82 επιστημολογικά χαρακτηριστικά. Από τη στιγμή που τα ιστορικά μοντέλα μοιράζονται μεταξύ τους αρκετά κοινά επιστημολογικά χαρακτηριστικά, και εφόσον έχουν συνυπολογιστεί αυτά τα κοινά σε κάθε μοντέλο που μοιράζονται, στο Γράφημα 23 παρουσιάζονται τα σύνολα μαζί με τα μοναδικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν για κάθε μοντέλο.

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του νεοκλασικού και του κλασικού μοντέλου υπερिशύουν των υπολοίπων, δείχνοντας ενδεχομένως την τάση των μαθητριών/τών να εξηγούν τη γονιδιακή λειτουργία ή τη δομή των γονιδίων με όρους αυτών των μοντέλων. Όπως φαίνεται και από το Γράφημα 21, παραπάνω, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανήκουν αποκλειστικά στο νεοκλασικό μοντέλο είναι οι 1c, 1cx, 1e που περιγράφουν τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου και η 7b που περιγράφει περιβαλλοντικά στοιχεία στη γονιδιακή λειτουργία που υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα. Παράλληλα, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανήκουν αποκλειστικά στο κλασικό μοντέλο και που ανιχνεύθηκαν στις

αντιλήψεις των μαθητριών/τών ήταν η 4b και η 4e που αφορούν τη σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου.



Γράφημα 23. Πλήθος επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά ιστορικό μοντέλο για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις μαθητριών/τών ($N = 1316$) και τα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν για κάθε ιστορικό μοντέλο ($N = 304$). Το άθροισμα των συνολικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών εμφανίζεται μεγαλύτερο του πλήθους που ανιχνεύθηκαν, καθώς πολλά χαρακτηριστικά είναι κοινά για κάποια μοντέλα.

Κατηγοριοποιώντας τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά στα ιστορικά μοντέλα που αυτά ανήκουν, παραλείπονται τα μη ιστορικά χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κάποιο μοντέλο, αλλά ανιχνεύτηκαν ωστόσο σε τρεις κατηγορίες επιστημολογικών χαρακτηριστικών, όπου σε δύο από αυτές, 21 και 6, αποτέλεσαν τις πιο συχνές μεταβλητές για κάθε μαθήτρια/τη (Πίνακας 21). Τα μοντέλα στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δεν αντιστοιχούσαν σχεδόν σε καμία από τις μονάδες ανάλυσής των συνεντεύξεών τους με τα ιστορικά μοντέλα. Κατά συνέπεια, η χρήση υβριδικών μοντέλων ήταν κανόνας.

Η πλειοψηφία των μαθητριών/τών περιέγραφε τη δομή του γονιδίου ως ένα τμήμα DNA (1c), οι λειτουργίες του να σχετίζεται με το DNA (1cx), ή να είναι φορέας ή/και μονάδα πληροφορίας (1e), χαρακτηριστικά αποκλειστικά του νεοκλασικού μοντέλου. Συνέδεαν οντότητες στο φαινοτυπικό επίπεδο με το μοριακό (2Icy), ερμηνεύοντας επαγωγικά το μοριακό επίπεδο από το μακρο- επίπεδο (6bx) χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κανένα ιστορικό μοντέλο. Ακόμα, οι μαθήτριες/τές συνήθως όριζαν τη γονιδιακή λειτουργία από κάτω προς τα πάνω (3b: κλασικό και βιοχημικό-κλασικό μοντέλο), ενώ παρέλειπαν την επεξήγηση στο διαχωρισμό γονοτύπου και φαινοτύπου (4b) χαρακτηριστικό του κλασικού μοντέλου. Οι

σχέσεις που παρουσίαζαν στα μοντέλα τους ήταν ιδεαλιστικές (5Ia) όπως στα τρία πρώτα ιστορικά μοντέλα, και αιτιακές και μηχανιστικές (5IIa) που εμφανίζονται σε όλα τα ιστορικά μοντέλα εκτός από το σύγχρονο. Τέλος, η πλειοψηφία δεν συμπεριλάμβανε περιβαλλοντικά στοιχεία στις εξηγήσεις τους (7a), χαρακτηριστικό των τριών πρώτων ιστορικών μοντέλων.

Πίνακας 21. Υβριδικά μοντέλα που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, όπως αυτά αντιπροσωπεύονται από τη μέγιστη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών τους ανά κατηγορία.

Μαθήτριες/τές	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά - μεταβλητές								
	1	2I	2II	3	4	5I	5II	6	7
M01	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia/5Ib	5IIa	6bx	7a
M02	1c	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia/5Ib	5IIa	6bx	7a
M03	1e	2Icy	2IIa	3b	4c	5Ia	5IIa	6bx	7a
M04	1e	2Ibx	2IIa	3b	4c	5Ia/5Ib	5IIa	6bx	7a
M05	1e	2Icy	2IIa	3b	4b/4c	5Ia	5IIa	6bx	7a
M06	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a
M07	1d	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a
M08	1c	2Ibx/2Icy	2IIa	3b	4c	5Ia	5IIa	6bx	7a
M09	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a
M10	1b	2Ib	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6b	7a
M11	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a
M12	1c/1cx	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax
M13	1cx	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax
M14	1a	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a
M15	1b/1cx	2Icy	2IIa	3b	4a	5Ia	5IIa	6bx	7a
M16	1cx	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax
M17	1b	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax
M18	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a

Ο Πίνακας 22 παρουσιάζει τα κυρίαρχα μοντέλα στις αντιλήψεις κάθε μαθήτριας/τη σύμφωνα με τη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν και το ποσοστό υβριδισμού του κάθε μοντέλου. Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο κυριάρχησε, με την πλειοψηφία των πληροφορητριών/τών να εμφανίζει μεγάλα ποσοστά υβριδισμού (44-55%). Το νεοκλασικό μοντέλο εμφανίστηκε στις αντιλήψεις πέντε μαθητριών/τών, με έκταση υβριδισμού 50% και 55%, ενώ το Μεντελικό σε μία μαθήτρια. Όπου τα χαρακτηριστικά δύο ιστορικών μοντέλων ισοβάθησαν, υπολογίστηκε η έκταση υβριδισμού και για τα δύο. Κατά μέσο όρο από τα αποτελέσματα του συνόλου των μαθητριών/τών, το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο χρησιμοποιούνταν υβριδισμένο κατά 43% (μαθήτριες/τές 1-11 και 13-18), το νεοκλασικό (μαθήτριες/τές 1, 2, 12, 13, 16) κατά 52%, ενώ το Μεντελικό στη μαθήτρια 14 που

ισοβάθμησε με το βιοχημικό-κλασικό κατά 44% από χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε ιστορικά μοντέλα και από αυτά που δεν ανήκουν στο κυρίαρχο με βάση τη συχνότητα των χαρακτηριστικών του.

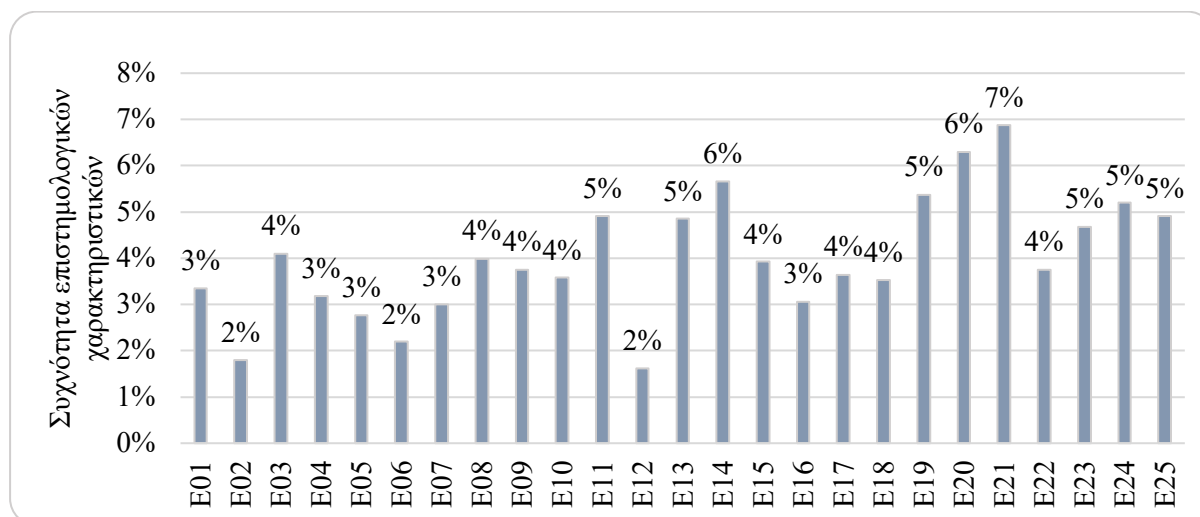
Πίνακας 22. Συχνότητα υβριδισμού των μοντέλων στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών

Μαθήτρες /τές	Μοντέλο	Επίπεδο υβριδισμού (%) ^α	Μοντέλο (ισοβαθμία)	Επίπεδο υβριδισμού (%) ^α
M01	Βιοχημικό-κλασικό	50	Νεοκλασικό	50
M02	Βιοχημικό-κλασικό	50	Νεοκλασικό	50
M03	Βιοχημικό-κλασικό	33		
M04	Βιοχημικό-κλασικό	40		
M05	Βιοχημικό-κλασικό	40		
M06	Βιοχημικό-κλασικό	44		
M07	Βιοχημικό-κλασικό	44		
M08	Βιοχημικό-κλασικό	50		
M09	Βιοχημικό-κλασικό	44		
M10	Βιοχημικό-κλασικό	11		
M11	Βιοχημικό-κλασικό	44		
M12	Νεοκλασικό	50		
M13	Βιοχημικό-κλασικό	56	Νεοκλασικό	56
M14	Μεντελικό	44	Βιοχημικό-κλασικό	44
M15	Βιοχημικό-κλασικό	40		
M16	Βιοχημικό-κλασικό	56	Νεοκλασικό	56
M17	Βιοχημικό-κλασικό	44		
M18	Βιοχημικό-κλασικό	44		

^α Το επίπεδο υβριδισμού ισούται με τη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών, η οποία υπολογίζεται ως ο αριθμός των λανθασμένων ιστορικών χαρακτηριστικών (μη ιστορικών και αυτών που δεν ανήκουν στο κυρίαρχο μοντέλο) διαιρεμένος με το συνολικό αριθμό των χαρακτηριστικών με μεγαλύτερη συχνότητα στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών.

4.3 Αντιλήψεις εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης

Από την ποιοτική ανάλυση των απομαγνητοφωνήσεων των συνεντεύξεων για την ανίχνευση των αντιλήψεων 25 εν ενεργεία Βιολόγων εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τη δομή και λειτουργία του γονιδίου προέκυψαν 1731 επιστημολογικά χαρακτηριστικά σε 322 μονάδες ανάλυσης (Πίνακας 23), κατά μέσο όρο 69 (4%) περίπου για κάθε πληροφορήτρια/τή (Γράφημα 24).



Γράφημα 24. Επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν ($N = 1731$) ανά εκπαιδευτικό.

Πίνακας 23 Οι μονάδες ανάλυσης και τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν σε αυτές ανά εκπαιδευτικό.

Εκπαιδευτικοί	Μονάδες ανάλυσης	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά
E01	17	58
E02	6	31
E03	10	71
E04	9	55
E05	5	48
E06	5	38
E07	10	52
E08	9	69
E09	9	65
E10	8	62
E11	21	85
E12	15	28
E13	16	84
E14	18	98
E15	15	68
E16	12	53
E17	14	63

Πίνακας 23, συνέχεια

E18	15	61
E19	15	93
E20	14	109
E21	17	119
E22	14	65
E23	18	81
E24	16	90
E25	14	85
Σύνολο	322	1731

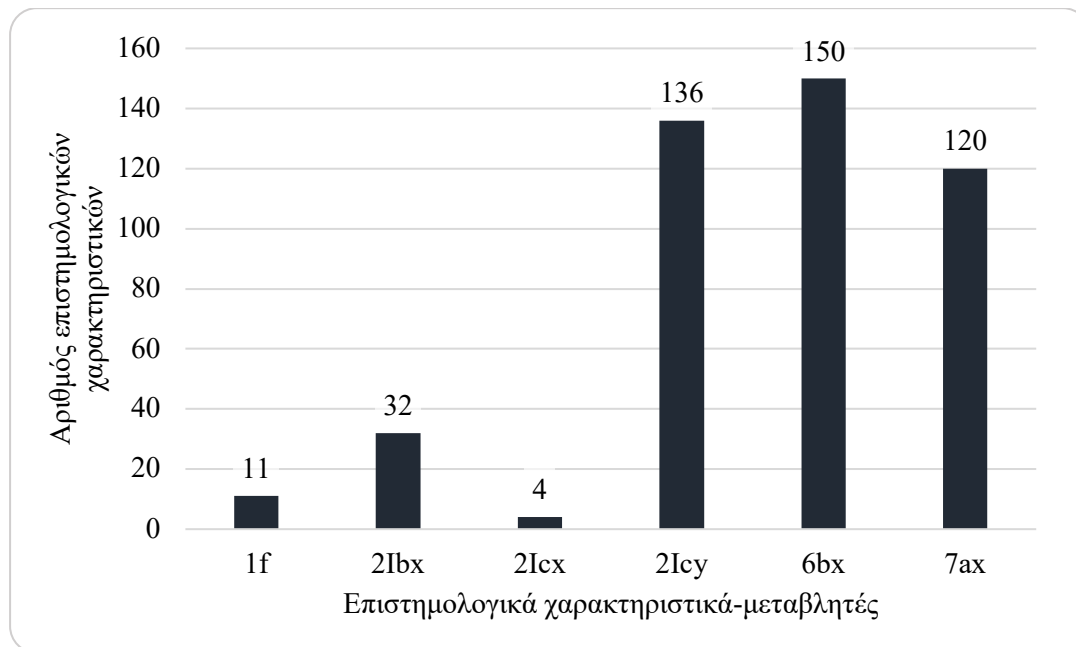
Πιο αναλυτικά, στο Γράφημα 25 παρουσιάζεται η συχνότητα όλων των παραλλαγών των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν ανά επιστημολογικό χαρακτηριστικό. Όλα τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά εντοπίστηκαν στις συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν, ενώ ακολουθεί η λεπτομερής καταγραφή των ποσοστών των χαρακτηριστικών από τις οποίες αντιπροσωπεύεται το κάθε χαρακτηριστικό. Η συγκριτική παράθεση των ποσοστών των επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών και μαθητριών/τών παρουσιάζεται στον Πίνακα 26 (Παράρτημα V).



Γράφημα 25. Ποσοστά επιστημολογικών χαρακτηριστικών ($N = 1731$) στις αντιλήψεις Βιολόγων εκπαιδευτικών.

Από το σύνολο των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, το 26% αποτέλεσαν οι μεταβλητές που δεν ανήκουν σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Βρέθηκαν μεταβλητές για κάθε μία από τις έξι όπως φαίνεται και στο Γράφημα 26, με τη μεταβλητή 6b να είναι η

πιο συχνή, να ακολουθούν οι 2Icy και 7ax, ενώ η 2Ibx και οι 1f και 2Icx να εντοπίζονται μερικές φορές έως σπάνια σε σχέση με την πρώτη σε συχνότητα. Η συχνότητά τους παρατίθεται παρακάτω αναλυτικότερα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταβλητές για κάθε επιστημολογικό χαρακτηριστικό.



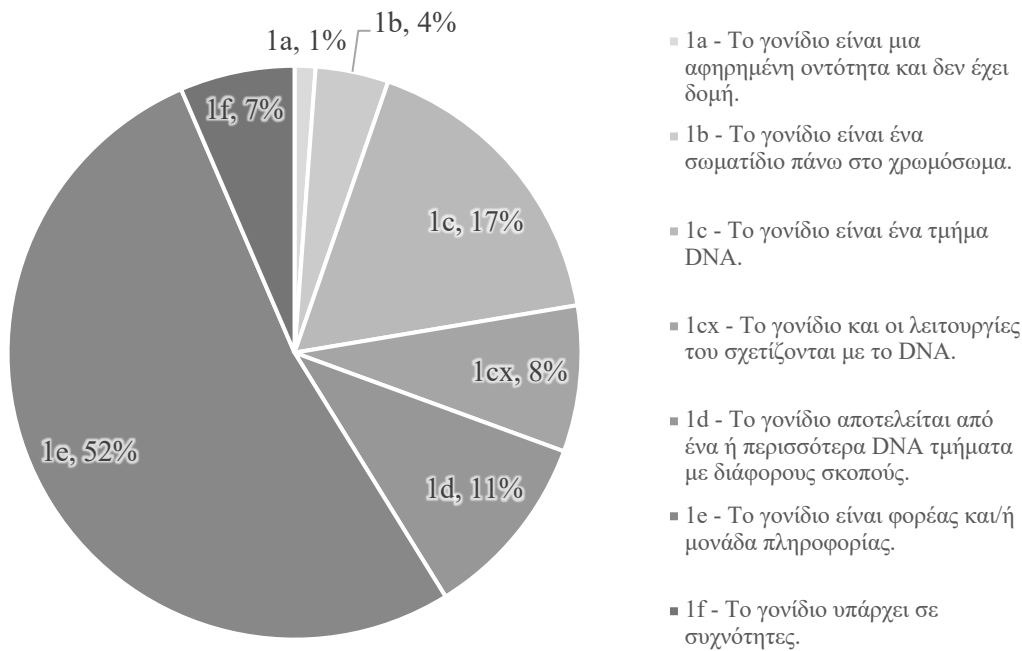
Γράφημα 26. Μη ιστορικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά ($N = 442$) που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών.

4.3.1 Επιστημολογικά χαρακτηριστικά στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών

4.3.1.1 Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1)

Όσον αφορά την περιγραφή της σχέσης δομής και λειτουργίας του γονιδίου το ήμισυ (52%, Γράφημα 27) των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν κατηγοριοποιήθηκαν στο χαρακτηριστικό που περιγράφει το γονίδιο ως φορέα και/ή μονάδα πληροφορίας (1e). Το υπόλοιπο ήμισυ των επιστημολογικών χαρακτηριστικών μοιράστηκε στις υπόλοιπες θεωρήσεις για τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου με αυτή του γονιδίου ως ένα τμήμα DNA (1c) να καταλαμβάνει το 17%, του γονιδίου να αποτελείται από ένα ή περισσότερα DNA τμήματα με διάφορους σκοπούς (1d) το 11%, ενώ τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά 1cx, 1f, 1b και 1a να εντοπίζονται με ποσοστά 8%, 7%, 4% και 1% αντίστοιχα (Γράφημα 27).

1 - Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου



Γράφημα 27. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 1 (N = 170) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Όσον αφορά το κυρίαρχο επιστημολογικό χαρακτηριστικό στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών (1e), αυτό ανήκει στο νεοκλασικό μοντέλο και οι εκπαιδευτικοί το εξέφρασαν με διάφορους τρόπους στις συνεντεύξεις τους. Η εκπαιδευτικός 2, για παράδειγμα, παρουσιάζει το γονίδιο ως ένα μόριο με χημική υπόσταση, το οποίο αποτελεί μονάδα πληροφορίας (1e) για τα χαρακτηριστικά που θα φέρει ο οργανισμός ή για τις λειτουργίες του. Ο εκπαιδευτικός 11 αναφέρεται σε οδηγίες καταγεγραμμένες σε σκληρό δίσκο, οι οποίες φέρουν την πληροφορία (1e) για τον φαινότυπο του χρώματος των μαλλιών, ενώ η εκπαιδευτικός 21 εκφράζει ρητά το γονίδιο ως πληροφοριοδότη (1e) για την παραγωγή μιας πρωτεΐνης.

Εκπαιδευτικός 2: Το γενετικό υλικό, λοιπόν, είναι στην πραγματικότητα είναι ένα χημικό μόριο [...] εκεί πέρα μέσα σε αυτό αποθηκεύονται πληροφορίες, πάλι αυτές οι πληροφορίες είναι με χημικό τρόπο αποθηκευμένες, και είναι αυτές που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά που θα αναπτύξει αργότερα ο κάθε οργανισμός, ο κάθε ζωντανός οργανισμός. Ε, έχουνε πληροφορίες δηλαδή για το πως θα λειτουργήσει αυτός οργανισμός, από τη στιγμή που θα αρχίσει να δημιουργείται

*μέχρι και κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, σε όλα τα στάδια δηλαδή της ζωής.
[...]*

Εκπαιδευτικός 11: γονότυπος είναι ας πούμε οι οδηγίες που υπάρχουν στο σκληρό δίσκο. Μπορεί να έχω οδηγίες για μαύρα μαλλιά, μπορεί να έχω οδηγίες από τη μάνα μου για ξανθά μαλλιά. [...]

Εκπαιδευτικός 21: [...] Στην ουσία, δίνει την πληροφορία [το γονίδιο], είναι στην ουσία ο πληροφοριοδότης, που θα πάει στη συνέχεια στο ριβόσωμα για να παραχθεί η ανάλογη πρωτεΐνη, η πρωτεΐνη για να δώσει το χαρακτηριστικό, τον φαινότυπο.

Ως προς το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1c και 1cx που ανήκουν και αυτά στο νεοκλασικό μοντέλο. Οι μονάδες ανάλυσης στις οποίες οι εκπαιδευτικοί αναφέρονταν στα γονίδια ως τμήματα DNA (παράδειγμα: εκπαιδευτικός 13) ή ως αλληλουχίες (εκπαιδευτικός 14) και κομμάτια DNA (εκπαιδευτικός 21) χαρακτηρίζονταν με επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1c.

Εκπαιδευτικός 13: Είναι τμήματα DNA με συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων. Που κάτι καθορίζουν τελικά, ένα προϊόν.

Εκπαιδευτικός 14: Γονότυπος είναι μια αλληλουχία DNA συγκεκριμένη που φτιάχνει, που κωδικοποιεί μια, φέρει μια πληροφορία για να φτιαχτεί ένα RNA που θα οδηγήσει σε μια πρωτεΐνη. [...]

Εκπαιδευτικός 21: Είναι μικρά κομμάτια σε σχέση με το συνολικό γονιδίωμά μας. Και αυτά έχουν μια.. και με βάση αυτά γίνεται η παραγωγή των πρωτεϊνών, αυτά διαβάζει στην ουσία το mRNA και τα μεταφέρει στα ριβοσώματα για να γίνει η πρωτεϊνοσύνθεση.

Όταν έλειπε η αναφορά στη μοριακή υπόσταση του γονιδίου, αλλά οι εκπαιδευτικοί συμπεριλάμβαναν στην περιγραφή τους τη συσχέτιση του γονιδίου και των λειτουργιών του με το DNA, τότε η μονάδα ανάλυσης αντιστοιχιζόταν με το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1cx, όπως, για παράδειγμα, φαίνεται παρακάτω στο απόσπασμα από τα λόγια της εκπαιδευτικού 20.

Εκπαιδευτικός 20: Η ποικιλομορφία σε οργανισμούς διαφορετικών ειδών οφείλεται κατά βάση στο ότι έχουν διαφορετικό DNA. Όχι τόσο στο διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων, όσο στις διαφορετικές αζωτούχες βάσεις, από τις οποίες φτιάχνεται το γενετικό τους υλικό, άρα έχουν και διαφορετικά γονίδια που ελέγχουν ενδεχομένως διαφορετικές λειτουργίες, άλλοι έχουν περισσότερα αλλά έχουν λιγότερα. Οπότε η ποικιλομορφία στηρίζεται κυρίως στο DNA θα έλεγα.

Το τρίτο σε συχνότητα (11%) επιστημολογικό χαρακτηριστικό για τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1d) που ανήκει στο σύγχρονο μοντέλο, ανιχνεύθηκε σε μονάδες ανάλυσης των συνεντεύξεων των εκπαιδευτικών που αναφέρονταν στην ωρίμανση των mRNA (εκπαιδευτικός 4), σε πολυγονιδιακούς χαρακτήρες (εκπαιδευτικός 16), ή σε διάφορους τρόπους ρύθμισης της γονιδιακής λειτουργίας σύμφωνα με τις πιο σύγχρονες ανακαλύψεις για αυτήν (εκπαιδευτικός 16).

Εκπαιδευτικός 4: Θα φέρει την πληροφορία για τη σύνθεση μιας πρωτεΐνης, που μπορεί να παίζει έναν ρόλο δομικό, λειτουργικό μέσα στον οργανισμό. Είτε θα δώσει ριβοσωμικό RNA που είναι δομικό συστατικό των ριβοσωμάτων, transfer RNA που μεταφέρει τα αμινοξέα, και αυτά τα δύο συμμετέχουν στη διαδικασία της έκφρασης της γενετικής πληροφορίας. Είτε μικροπυρηνικό RNA που συμμετέχει στη διαδικασία της ωρίμανσης. [...]

Εκπαιδευτικός 16: το ύψος είναι πολυγονιδιακός χαρακτήρας, πολύ χαρακτηριστικό. Ελέγχεται πολύ από το περιβάλλον, ελέγχεται από τη διατροφή κατά την αναπτυξιακή περίοδο του παιδιού και από την άσκηση την οποία κάνει. [...]

Ερευνήτρια: Τι επηρεάζει η γονιδιακή λειτουργία σε έναν οργανισμό·

Εκπαιδευτικός 16: Τη δομή των κυττάρων του, από τη στιγμή που από το γονίδιο παράγονται πρωτεΐνες, Και οι πρωτεΐνες παίζουν πάρα πολλούς διαφορετικούς ρόλους, από δομικούς και όλα τα είδη των λειτουργικών. Αν λάβει κανείς υπόψη του ότι η μεταγραφή των γονιδίων γίνεται από μεταγραφικούς παράγοντες που είναι πρωτεΐνες, άρα ένα γονίδιο μπορεί να κωδικοποιεί μία πρωτεΐνη που είναι μεταγραφικός παράγοντας και αυτή με τη σειρά της να παίζει ρόλο και να ρυθμίζει την έκφραση άλλων γονιδίων... Επίσης εκτός από τα κλασσικά RNA τα mRNA, rRNA, tRNA και snRNA, υπάρχουν και διάφορα περίεργα RNA, interference,

small interference RNA τα οποία επίσης παίζουν ρόλο στη ρύθμιση της έκφρασης άλλων γονιδίων με πολύπλοκους μηχανισμούς, με πολύπλοκους ρυθμιστικούς μηχανισμούς, αν και δε μου είναι πάρα πολύ ξεκάθαρο αν αυτά τα μικρά περίεργα RNA που παίζουν ρυθμιστικό ρόλο έχουν δικά τους γονίδια, αυτό δεν το έχω ξεκαθαρίσει στο μυαλό μου. Αν έκανα μία μαντεψιά θα έλεγα ότι έχουν γονίδια που τα κωδικοποιούν και αυτά, άρα υπάρχουν και γονίδια που κωδικοποιούν RNA και αυτά τα RNA συμβάλλουν σε ρυθμιστικούς μηχανισμούς άλλων γονιδίων.

Λίγες ήταν οι αναφορές στις μεταβλητές των επιστημολογικών χαρακτηριστικών 1a, 1b και 1f, που ανήκουν στο Μεντελικό, το κλασικό και βιοχημικό-κλασικό και το τελευταίο δεν εμπίπτει σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη λειτουργία του, αλλά έχει ανιχνευθεί στα Ελληνικά σχολικά εγχειρίδια Βιολογίας (Christidou & Papadopoulou, 2020). Το γονίδιο να υπάρχει σε συχνότητες (1f) ανιχνεύθηκε σε μικρό ποσοστό (7%), για παράδειγμα, όταν οι εκπαιδευτικοί όπως η εκπαιδευτικός 16 αναφέρονταν σε ποσοστά ύπαρξης γονιδίων σε πληθυσμούς οργανισμών.

Εκπαιδευτικός 16: Η ομοιότητα ανάμεσα στα άτομα του ίδιου είδους οφείλεται στο ότι έχουν προφανώς ένα κοινό πρόγονο από τον οποίο προήλθαν και μέσω της εξέλιξης έχουν συσσωρεύσει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία από τη στιγμή που ανήκουν στο ίδιο είδος έχουν τη δυνατότητα να αποκτούν απογόνους γόνιμους ανάμεσά τους, οπότε σημαίνει ότι έχουνε μια βάση, ας πούμε, ομοιότητας, έχουν ένα μεγάλο ποσοστό γονιδίων όμοιων, η οποία προέρχεται από τη μεταξύ τους διασταύρωση.

Η χρωμοσωμική εξήγηση της σχέσης γονιδίου – γονιδιακής λειτουργίας (1b) ανιχνεύθηκε σε ποσοστό 4%, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα:

Εκπαιδευτικός 11: Ο άνθρωπος έχει δύο σειρές χρωμοσωμάτων, δηλαδή ας πούμε, δύο οδηγίες για κάθε ένα χαρακτηριστικό. Στα περισσότερα χαρακτηριστικά αυτό που ακολουθείται είναι ότι φαίνεται, εκφράζεται η μία από τις δύο οδηγίες. [...]

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 1a, που ανήκει στο Μεντελικό μοντέλο, ανιχνεύθηκε μόνο σε μία μονάδα ανάλυσης, όπου ο εκπαιδευτικός 11 αναφέρεται σε

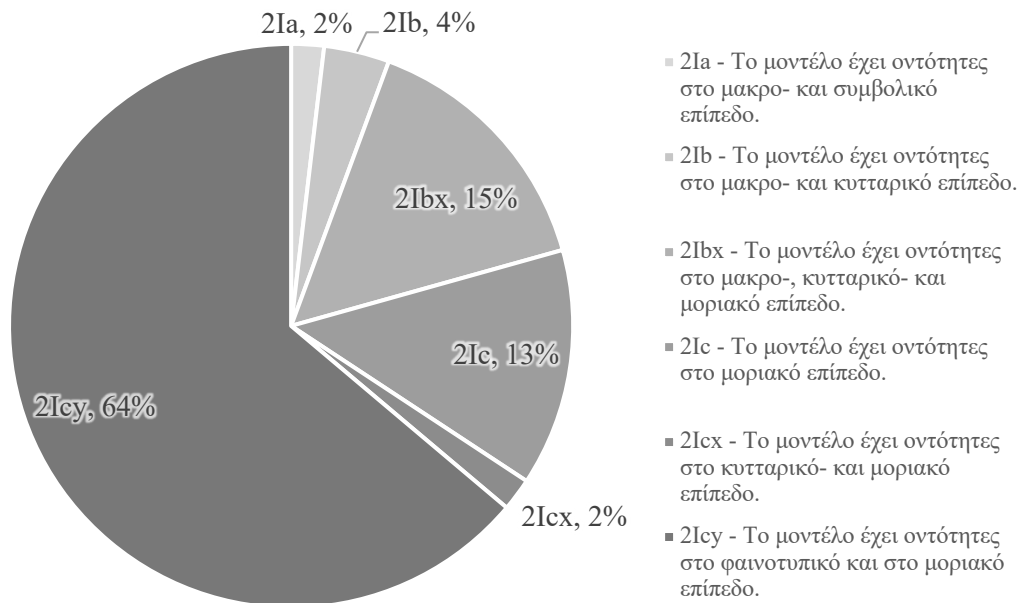
κληρονόμηση των χαρακτηριστικών από τους γονείς με τα χαρακτηριστικά να χρησιμοποιούνται εναλλάξ ως όρος με τα γονίδια:

Εκπαιδευτικός 11: Οι γονείς λοιπόν κληρονομούν τα μισά χαρακτηριστικά... κληρονομούν όλα τα χαρακτηριστικά τους, αλλά το θέμα είναι τι φαίνεται. Είναι ο γονότυπος και ο φαινότυπος. Και αυτό που κληρονομούν είναι επίσης μια μικρή αλλαγή που συμβαίνει στα... στους συνδυασμούς τους, στα γαμετικά κύτταρα.

4.3.1.2 Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2)

Αναφορικά με τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας επικράτησε (64%) στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών (Γράφημα 28), η μεταβλητή που συμπεριλαμβάνει στο μοντέλο οντότητες που υπάρχουνε στο μακρο- και μοριακό επίπεδο (2Icy), η οποία δεν ανήκει σε κάποιο ιστορικό μοντέλο για το γονίδιο για τη γονιδιακή λειτουργία αλλά έχει ανιχνευθεί σε σχολικά εγχειρίδια Βιολογίας της Βραζιλίας (Santos et al., 2012) και στη συνέχεια και στα Ελληνικά (Christidou & Papadopoulou, 2020). Το μακρο-επίπεδο που αφορά το φαινομενολογικό επίπεδο, ή αλλιώς, ό,τι είναι προσβάσιμο στις ανθρώπινες αισθήσεις αποτέλεσαν στοιχεία του φαινοτύπου όπως εξωτερικά χαρακτηριστικά (χρώμα ματιών, μαλλιών, ύψος, κ.ά.) και αναφορές σε επίπεδο οργανισμού, και στο μοριακό επίπεδο λαμβάνονταν υπόψιν αναφορές σε μόρια DNA και πρωτεΐνες.

2 - Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας



Γράφημα 28. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 2I (N = 213) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Μερικά παραδείγματα όπου οι εκπαιδευτικοί συνέδεσαν οντότητες στο φαινοτυπικό και το μοριακό επίπεδο (2Icy) παρατίθενται παρακάτω. Η εκπαιδευτικός 13 χρησιμοποιεί την έννοια του φαινοτύπου για να περιγράψει τα προϊόντα των γονιδίων (μοριακό επίπεδο), η εκπαιδευτικός 4 αναφέρεται στο γεγονός ότι η γενετική ποικιλομορφία (μοριακό επίπεδο) έχει ως απόρροια τη διαφοροποίηση στο φαινότυπο όπως το χρώμα ματιών και το ύψος (φαινοτυπικό επίπεδο), και η εκπαιδευτικός 9 συνδέει και αυτή το χρώμα των ματιών (φαινοτυπικό επίπεδο) με τα γονίδια (μοριακό επίπεδο).

Εκπαιδευτικός 13: Ο γονότυπος είναι το είδος του γονιδίου, των γονιδίων των αλληλόμορφων γονιδίων που διαθέτει οργανισμός, ο φαινότυπος είναι το προϊόν που θα βγει από αυτό. Από αυτά τα γονίδια, και που τελικά αυτό το προϊόν που θα βγει θα καθορίσει τα χαρακτηριστικά του οργανισμού.

Εκπαιδευτικός 4: [...] Και θεωρώ ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό τελικά της γενετικής μας πληροφορίας κάνει αυτή τη διαφοροποίηση, δηλαδή τα καστανά μαλλιά, τα, δεν ξέρω και εγώ, το χρώμα ματιών, το ύψος ή οτιδήποτε. [...]

Εκπαιδευτικός 9: [...] γι' αυτό παραδείγματος χάρη μπορεί να τύχει να έχουμε δύο γονείς οι οποίοι έχουν καστανά μάτια, και να βγει ένα παιδάκι το οποίο έχει γαλάζια. Γιατί προφανώς κάποιος παππούς, προπάππους και από τις δύο μεριές, από τη στιγμή που μιλάμε παραδείγματος χάριν για ένα υπολειπόμενο χαρακτήρα, πρέπει να έχει αυτό το γονίδιο και να έκατσε έτσι το... Η μίξη τελοσπάντων των δύο γονιδίων, έτσι ώστε να μπορέσει να εκφραστεί αυτός ο υπολειπόμενος χαρακτήρας.

Αντίστοιχα με τις/τους μαθήτριες/τές, οι εκπαιδευτικοί συνέδεαν λιγότερο (15%) το οντότητες μεταξύ μακρο-, κυτταρικού- και μοριακού επιπέδου όταν περιγράφανε τη γονιδιακή λειτουργία (2Ibx). Χρησιμοποιούσαν δηλαδή και ένα ενδιάμεσο στάδιο του φαινομενολογικού και του μοριακού επιπέδου, αναφερόμενες/οι σε χρωμοσώματα ή το κύτταρο. Η εκπαιδευτικός 4, για παράδειγμα, ανέφερε το κυτταρικό επίπεδο ως επίπεδο δράσης της γονιδιακής λειτουργίας, το οργανισμικό, αλλά και το μοριακό, στην εξήγησή της. Στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας, η εκπαιδευτικός 25 συνέδεσε το μοριακό επίπεδο (γονίδια και πρωτεϊνικά μόρια, βιοχημικά χαρακτηριστικά) με τις διάφορες κυτταρικές ομάδες στις οποίες διαφοροποιούνται τα γονίδια που εκφράζονται, με, τέλος, τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του οργανισμού που ανήκουν στο μακρο-επίπεδο.

Ερευνήτρια: Ποια επίπεδα οργάνωσης μπορεί να επηρεάσει η γονιδιακή λειτουργία;

Εκπαιδευτικός 4: Όλα, και σε επίπεδο ενός κυττάρου, το αν παράγει ένα ενζύμου ή όχι, που δεν το βλέπω. Μπορεί να αντιλαμβάνομαι το αποτέλεσμα, αλλά δεν το βλέπω. Ε, και κατά συνέπεια, αφού όλα είναι συνδυασμός των διαφόρων ιστών και τα λοιπά, έρχεται και εμφανίζεται και στον οργανισμό. Τώρα, σε επίπεδο μοριακό σίγουρα, νομίζω παίζει ρόλο και εκεί. Ε, δηλαδή εμφανίζεται και εκεί η λειτουργία ενός γονιδίου.

Εκπαιδευτικός 25: Εν μέσω των διαδικασιών μεταγραφής, μετάφρασης και από τη γονιδιακή ρύθμιση. Δηλαδή κάθε κυτταρική ομάδα ελέγχει διαφορετικά γονίδια τελοσπάντων, τα οποία εφόσον έχουν υποστεί ή δεν έχουν υποστεί μεταλλάξεις, δημιουργούν τα πρωτεϊνικά μόρια τα οποία θα δώσουν τα χαρακτηριστικά στο τέλος στον οργανισμό, είτε εξωτερικά είτε βιοχημικά χαρακτηριστικά.

Το τρίτο σε συχνότητα (13%) επιστημολογικό χαρακτηριστικό (2Ic) αφορά σε οντότητες του μοντέλου που περιγράφει τη γονιδιακή λειτουργία μόνο στο μοριακό επίπεδο και αποτελεί χαρακτηριστικό του νεοκλασικό και σύγχρονου μοντέλου. Όταν η εκπαιδευτικός 13, για παράδειγμα, περιέγραψε την περιβαλλοντική επιρροή στη γονιδιακή λειτουργία, οι οντότητες που χρησιμοποίησε (γονίδια, πρωτεΐνες) ανήκουν στο μοριακό επίπεδο.

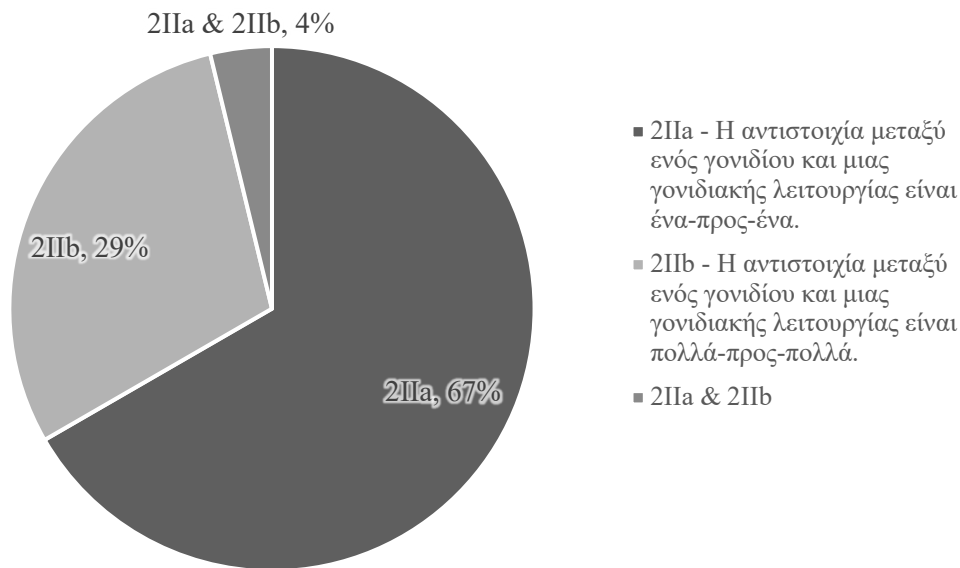
Εκπαιδευτικός 13: Το περιβάλλον επηρεάζει σε κάποιες περιπτώσεις την έκφραση των γονιδίων, το ποια γονίδια θα εκφραστούν και τελικά ποια προϊόντα δηλαδή γονιδίων θα πάρουμε, ποιες πρωτεΐνες συνήθως. Μπορεί να επηρεάσει γενικά δηλαδή την έκφραση του γονιδιώματος και να δώσει, ανάλογα με τις συνθήκες, είτε διαφορετική ποσότητα ή και ακόμα διαφορετική ποιότητα πρωτεϊνών. Δηλαδή κάτω από συγκεκριμένες της μπορεί οι πρωτεΐνες που παράγονται έτσι κι αλλιώς να παραχθούν σε διαφορετική ποσότητα, η μπορεί ακόμα και να ενεργοποιηθούν ή να κατασταλεί η έκφραση κάποιων γονιδίων από τις εξωτερικές συνθήκες.

Ακόμα, η εκπαιδευτικός 2, όταν ερωτήθηκε για τα επίπεδα οργάνωσης στα οποία δρα το γονίδιο, απάντησε στο υποκυτταρικό, το οποίο θεωρήθηκε ισότιμο με το μοριακό, καθώς διευκρίνισε ότι αυτό βρίσκεται κάτω από το κυτταρικό επίπεδο.

Εκπαιδευτικός 2: Στο υποκυτταρικό το επίπεδο, άρα είναι συστατικό του κυττάρου, στο εσωτερικό του..κυττάρου.. [...] όταν λέω υποκυτταρικό, εννοώ, δηλαδή κάτω ουσιαστικά από το επίπεδο..αν έχουμε δηλαδή το κύτταρο ένα επίπεδο οργάνωσης, κάτω από το κύτταρο, αυτό.

Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν σε μικρότερα ποσοστά είναι τα 2Ib (4%) και 2Ia (2%) που ανήκουν στο κλασικό, βιοχημικό-κλασικό και στο Μεντελικό μοντέλο αντίστοιχα, ενώ το 2Icx (2%) ανήκει στα αταξινόμητα χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κάποιο ιστορικό μοντέλο.

2 - Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας



Γράφημα 29. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 2II ($N = 127$) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Στη δεύτερη κατηγορία του επιστημολογικού χαρακτηριστικού αυτού είναι προφανής η επικράτηση της αντιστοίχισης των γονιδίων με τη γονιδιακή λειτουργία ένα-προς-ένα (2IIa – 67%) στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών (Γράφημα 29), καθώς η πιο συχνή περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας περιλάμβανε το γονίδιο ως φορέα μιας πληροφορίας για την παραγωγή μια πρωτεΐνης ή υπεύθυνης για την επιρροή ενός χαρακτηριστικού, περιγραφή που ανήκει στο Μεντελικό και νεοκλασικό μοντέλο. Αυτό φαίνεται και στα παρακάτω αποσπάσματα που είναι χαρακτηριστικά των μονάδων ανάλυσης που χαρακτηρίστηκαν ως 2IIa. Ο εκπαιδευτικός 11 παρά την αναφορά του στα πολλαπλά αλληλόμορφα των γονιδίων, τόνισε την έκφραση μίας «οδηγίας», όπως την αναφέρει, η οποία οδηγεί στην εμφάνιση ενός χαρακτηριστικού. Παρομοίως, η εκπαιδευτικός 6, αναφέρθηκε στην αλληλουχία των βάσεων DNA ως καθοριστική στο φαινότυπο του χρώματος των ματιών, όπου ένα γονίδιο «εκφράζει» ένα συγκεκριμένο χρώμα μαλλιών. Αντίστοιχα, ο εκπαιδευτικός 8 μιλώντας για «αλλαγές στην πληροφορία των γονιδίων» συνεπάγεται αλλαγές στη δομή του παραγόμενου πολυπεπτιδίου και άρα της πρωτεΐνης, η οποία επιδρά στην «έκφραση» μίας συγκεκριμένης ιδιότητας.

Εκπαιδευτικός 11: Ο άνθρωπος έχει δύο σειρές χρωμοσωμάτων, δηλαδή ας πούμε, δύο οδηγίες για κάθε ένα χαρακτηριστικό. Στα περισσότερα

χαρακτηριστικά αυτό που ακολουθείται είναι ό,τι φαίνεται, εκφράζεται η μία από τις δύο οδηγίες. Παίρνουμε μία οδηγία από τον πατέρα μας και μία από τη μητέρα μας, που λέγεται αλληλόμορφο, στα περισσότερα. Υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά, αλλά γονίδια τα οποία έχουν πολλαπλά αλληλόμορφα.

Εκπαιδευτικός 6: [...] Το A, το T, το G και το C. Δηλαδή αδερίνη, θυμίνη, γουανίνη, κυτοσίνη. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο αυτά γράφονται σε σειρά, φτιάχνονται και τα αντίστοιχα γονίδια. Αυτό σημαίνει ότι το γονίδιο που έχει ο πατέρας μπορεί να έχει μια συγκεκριμένη σειρά AATTGGCC, και το αντίστοιχο γονίδιο που θα υπάρχει στη μητέρα μπορεί να έχει ή την ίδια ακριβώς σειρά, ή λίγο διαφορετική. Αν έχουν ακριβώς την ίδια σειρά αυτό σημαίνει ότι το γονίδιο που υπάρχει και στον πατέρα και στη μητέρα θα σημαίνουν το ίδιο πράγμα. Θα εκφράζουν τον ίδιο χαρακτήρα ακριβώς. Π.χ. Και τα δύο γονίδια μπορεί να εκφράζουν το μαύρο χρώμα μαλλιών. Εάν το ένα, η μία σειρά στο γονίδιο για παράδειγμα της μητέρας είναι διαφορετική από αυτή που είναι στον πατέρα, τότε το γονίδιο της μητέρας μπορεί να λείει κόκκινο χρώμα μαλλιών, ενώ του πατέρα να συνεχίσει να λείει μαύρο. [...]

Εκπαιδευτικός 8: [...] Θεωρούμε ουσιαστικά ότι αλλάζοντας το πολυπεπτίδιο παράγεται αλλάζει και ο τρόπος με τον οποίο εκφράζεται μία ιδιότητα. Εφόσον οι πρωτεΐνες και τα πολυπεπτίδια, οι πρωτεΐνες εν πάσει περιπτώσει θεωρούμε ότι είναι υπεύθυνες για τη δράση τους και την εκδήλωση κάποιων χαρακτηριστικών, εφόσον οι πρωτεΐνες παράγονται με βάση τις οδηγίες που υπάρχουνε μέσα στα γονίδια, αλλαγή της πληροφορίας σημαίνει αλλαγή της αλληλουχίας των αμινοξέων, σημαίνει αλλαγή της τρισδιάστατης δομής της πρωτεΐνης, σημαίνει ενδεχομένως μία διαφορετική έκφραση για τη συγκεκριμένη ιδιότητα.

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 2IIIb, ανιχνεύθηκε σε μεγαλύτερη συχνότητα (29%) στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών από ό,τι των μαθητριών/τών (9%). Το χαρακτηριστικό αυτό περιγράφει την αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας ως πολλά-προς-πολλά, και ανήκει στο κλασικό και στο σύγχρονο μοντέλο. Ο εκπαιδευτικός 8, για παράδειγμα, αναφέρθηκε σε πολυγονιδιακούς χαρακτήρες, που προκύπτουν με δράση πολλών γονιδίων σε διαφορετικές γονιδιακές θέσεις, εξηγώντας και

ρητά πως η σχέση δεν είναι ένα-προς-ένα, καθώς ο εκπαιδευτικός 24 αναφέρθηκε σε μεταβολικές οδούς και πολλαπλά αλληλόμορφα για τον καθορισμό του ύψους στον άνθρωπο.

Εκπαιδευτικός 8: Υπάρχουν ιδιότητες οι οποίες είναι πολυγονιδιακές, ελέγχονται από τη συνδυασμένη δράση περισσότερων του... των αλληλόμορφων περισσότερο από μιας γονιδιακής θέσης, και υπάρχουν και οι μονογονιδιακοί χαρακτήρες. Δεν είναι ένα προς ένα, ούτε καν η έννοια προτείνει με γονίδιο δεν ταυτίζεται. Γιατί μια πρωτεΐνη μπορεί να αποτελείται από μια ή περισσότερες διαφορετικές πολυπεπτιδικές αλυσίδες, οπότε εκεί έχουμε τρία τουλάχιστον... έχουμε αντίστοιχο αριθμό γονιδίων που ελέγχουν την παραγωγή αυτών των αλυσίδων. Οπότε δεν είναι η αναλογία ένα προς ένα πάντα.

Εκπαιδευτικός 24: Τελοσπάντων, είναι πολυγονιδιακός χαρακτήρας. Οπότε λοιπόν, προφανώς και το ύψος... Για το πόσο ψηλός θα βγει ένας άνθρωπος ή όχι, εμπλέκεται κι εκεί μια... εμπλέκονται μεταβολικές οδοί. Δεν είναι δηλαδή αν θα βγει ψηλός ή κοντός καθοριζόμενο μόνο από ένα ή δύο ή και από ένα γονιδιακό προϊόν, αλλά από περισσότερα γονιδιακά προϊόντα, νομίζω από τέσσερα. Και όσο περισσότερα επικρατή γονίδια έχουμε, νομίζω ήταν τέσσερες γενετικές θέσεις για το ύψος, όσο περισσότερα επικρατή γονίδια έχει στο γονότυπό του ένας άνθρωπος, τόσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του. Προφανώς έχει να κάνει με τη σύνθεση κάποιων πρωτεϊνών, μάλλον πρέπει να έχει να κάνει και με την ποσότητα, σε μεγαλύτερη ή σε μικρότερη ποσότητα ανάλογα με το τί προφίλ γονιδιακό έχει και μπορεί ο άνθρωπος αυτός να βγει υψηλότερος ή όχι τόσο ψηλός.

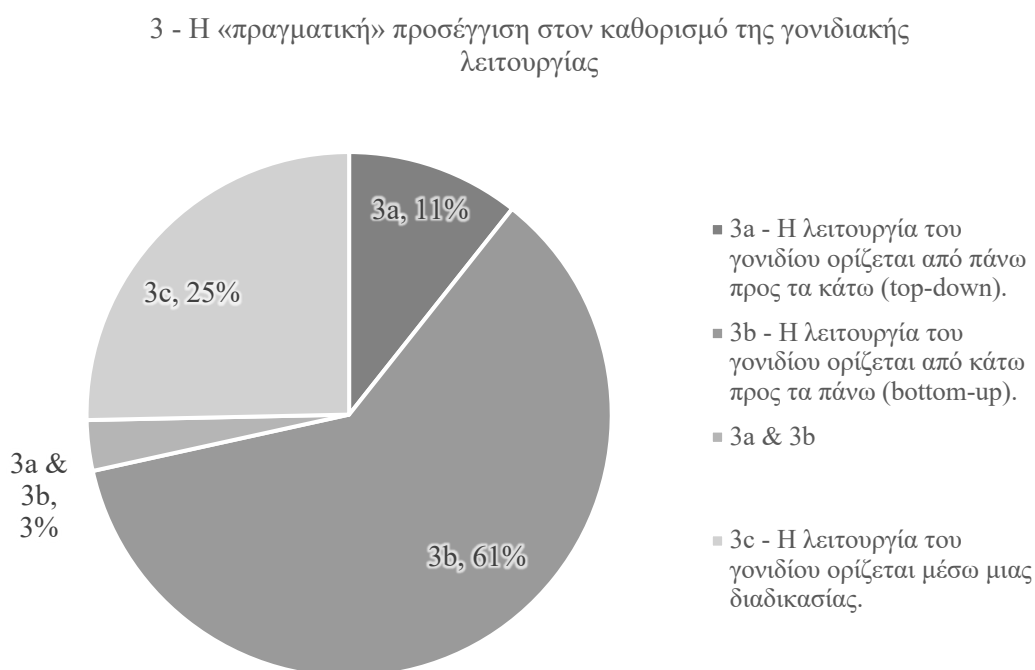
Λίγες ήταν οι μονάδες ανάλυσης (4%) όπου τα χαρακτηριστικά 2IIa και 2IIb συνυπήρχαν, κάτι που συναντάται στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο. Η εκπαιδευτικός 23 αφού αναφέρθηκε σε γονίδια που ελέγχουν μία ιδιότητα, για παράδειγμα, μιλάει αργότερα για συνδυασμός αλληλόμορφων γονιδίων που επιφέρουν κάποιο αποτέλεσμα.

Εκπαιδευτικός 23: [...] Δηλαδή γονίδια που ελέγχουν τη μία ιδιότητα, υπάρχουν γονίδια που ελέγχουν τις ιδιότητες και υπάρχουν πολλά και διαφορετικά σε κάποιες περιπτώσεις αλληλόμορφα για τα γονίδια αυτά. Οπότε ο διαφορετικός επίσης συνδυασμός των αλληλόμορφων γονιδίων, δηλαδή και τα γεγονότα που

συμβαίνουν στη μείωση, λένε ότι είναι έτσι ένας βασικός λόγος της ποικιλομορφίας. [...]

4.3.1.3 Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (3)

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που περιγράφει την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας. Στο Γράφημα 30 φαίνεται η κατανομή των χαρακτηριστικών που εντοπίστηκαν, με τον ορισμό της γονιδιακής λειτουργίας να ξεκινά από το γονίδιο να υπερισχύει (3b – 61%), τον ορισμός της μέσω μιας διαδικασίας να ακολουθεί σε ποσοστό (3a – 25%), ενώ το χαρακτηριστικό/παράγωγο αυτής να αποτελεί το σημείο εκκίνησής της (3a) βρέθηκε σε ποσοστό 11%. Τέλος, η συνύπαρξη των επιστημολογικών χαρακτηριστικών 3a και 3b ανιχνεύθηκε σε πολύ λίγες μονάδες ανάλυσης (3%).



Γράφημα 30. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 3 (N = 218) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Το πιο συχνό επιστημολογικό χαρακτηριστικό (3b) ανήκει στο νεοκλασικό μοντέλο και εκφράστηκε από τις/τους εκπαιδευτικούς ως η συνήθης εκκίνηση της γονιδιακής λειτουργίας ως από κάτω, που είναι το μοριακό επίπεδο, προς τα πάνω, που είναι ο φαινότυπος (bottom-up). Η περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας από τις/τους πληροφορήτριες/τές

ξεκινούσε από το γονίδιο, το οποίο ήταν υπεύθυνο για κάποιον φαινότυπο με ή χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιας πρωτεΐνης ή ενζύμου, όπως φαίνεται και στα παρακάτω αποσπάσματα.

Εκπαιδευτικός 6: Ε, οπότε, ανάλογα με το πως θα μεταβιβαστούν τα χρωμοσώματα από τους γονείς στα παιδιά, αντίστοιχα θα έχουμε και μεταβίβαση των σχετικών γονιδίων από τους γονείς στα παιδιά. Και έτσι με αυτόν τον τρόπο ένα παιδί μπορεί να μοιάζει περισσότερο στη μητέρα του, το αδερφάκι του μπορεί να μοιάζει περισσότερο στον πατέρα του και ούτω καθεξής. Και σίγουρα όλοι μοιάζουν μεταξύ τους.

Εκπαιδευτικός 18: Κληρονομείται το DNA από τον γαμέτη, ενώνονται τα δυο κύτταρα που δίνουν το ζυγωτό και πάνω σε αυτά τα χρωμοσώματα στην ουσία τα οποία αποτελούν το DNA υπάρχουν συγκεκριμένες περιοχές, τα γονίδια, τα οποία είναι υπεύθυνα για την παραγωγή κάποιων πρωτεϊνών και αυτές οι πρωτεΐνες μας δίνουν αυτά τα χαρακτηριστικά, είτε τα εμφανισιακά μας, είτε λειτουργικά δηλαδή στο πως θα λειτουργήσει... Αυτές οι πρωτεΐνες μπορεί να είναι και λειτουργικές να σχετίζονται με μια λειτουργία του οργανισμού όχι απαραίτητα με την εμφάνιση των ατόμων, ας πούμε.

Για παράδειγμα, η εκπαιδευτικός 6 περιγράφει τις ομοιότητες των παιδιών με τους γονείς τους, με βάση τα γονίδια που έχουν κληρονομήσει από αυτούς, υπονοώντας ότι τα γονίδια καθορίζουν τα χαρακτηριστικά, ενώ η εκπαιδευτικός 18 περιγράφει τα γονίδια ως υπεύθυνα για την παραγωγή πρωτεϊνών που στη συνέχεια επηρεάζουν εμφανισιακά ή λειτουργικά χαρακτηριστικά σε έναν οργανισμό. Ακόμα, ο εκπαιδευτικός 11 αναφέρεται σε γονίδια που ελέγχουν ένα χαρακτηριστικό.

Εκπαιδευτικός 11: Κατά τη διάρκεια της μίτωσης [εννοεί μείωση] λοιπόν, στην πρώτη μειωτική διαίρεση συμβαίνουν, συμβαίνει ένα φαινόμενο που λέγεται επιχιασμός, δηλαδή τα ομόλογα χρωμοσώματα, κάθετα το ένα απέναντι από το άλλο στο ισημερινό επίπεδο του κυττάρου και εκεί ανταλλάζουν τα αλληλόμορφα γονίδια, δηλαδή τα γονίδια που ελέγχουν το ίδιο χαρακτηριστικό, ανταλλάσσουν μεταξύ τους γενετικό υλικό. Αυτό μπορεί να συμβεί, μπορεί και να μη συμβεί.

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 3c, ανήκει στο σύγχρονο μοντέλο και περιγράφει τη λειτουργία του γονιδίου να ορίζεται μέσω μιας διαδικασίας. Στις μονάδες ανάλυσης όπου

ανιχνεύθηκε, οι εκπαιδευτικοί αναφέρονταν στη γονιδιακή λειτουργία συμπεριλαμβάνοντας τις βιοχημικές διαδικασίες της μεταγραφής, πέρα από την πρωτεϊνσύνθεση ή την παρουσίασαν ως δυναμική διαδικασία όπου το γονίδιο υφίσταται όταν λειτουργεί. Για παράδειγμα, η εκπαιδευτικός 13 αναφέρεται σε πολλαπλά προϊόντα της μεταγραφής των γονιδίων, όπως και η εκπαιδευτικός 22 που καταλήγει να περιγράψει μια πλαστικότητα στην έκφραση των γονιδίων.

Εκπαιδευτικός 13: είναι τμήματα DNA που με συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων, καθορίζουν είτε τη σύνθεση ενός πεπτιδίου ή κάποιου άλλου είδους RNA, tRNA, rRNA, διαφόρων ειδών RNA τελοσπάντων, εκτός από το mRNA που παράγει πρωτεΐνες. Τα περισσότερα γονίδια βεβαίως οδηγούν στη σύνθεση κάποιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας, συνήθως δηλαδή μιας πρωτεΐνης, αλλά υπάρχουν κι άλλα είδη γονιδίων που παράγουν άλλα είδη RNA.

Εκπαιδευτικός 22: Η έκφραση ενός γονιδίου είναι η παραγωγή ενός μορίου RNA, γενικά. Δηλαδή ένα γονίδιο κωδικοποιεί είναι μια αλληλουχία βάσεων DNA, που κωδικοποιεί κάποιο μόριο RNA. Από κει και πέρα το αν θα εκφραστεί ή όχι, ή πότε ή πόσο, έχει να κάνει με πάρα πολλούς παράγοντες κάποιους μας είναι γνωστοί, κάποιους δε μας είναι νομίζω. Σίγουρα υπάρχει ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων, που πάλι έχει να κάνει και με τον τύπο του ιστού, το στάδιο της ανάπτυξης, των φάσεων του κυτταρικού κύκλου. Τι άλλο· Μισό.. τι άλλο· Το περιβάλλον. Προφανώς επηρεάζει, το αν το κύτταρο δέχεται κάποιες ουσίες ή κάποιες ακτινοβολίες ενδεχομένως και αντιδρά σε αυτά, αλλάζοντας την έκφρασή του.

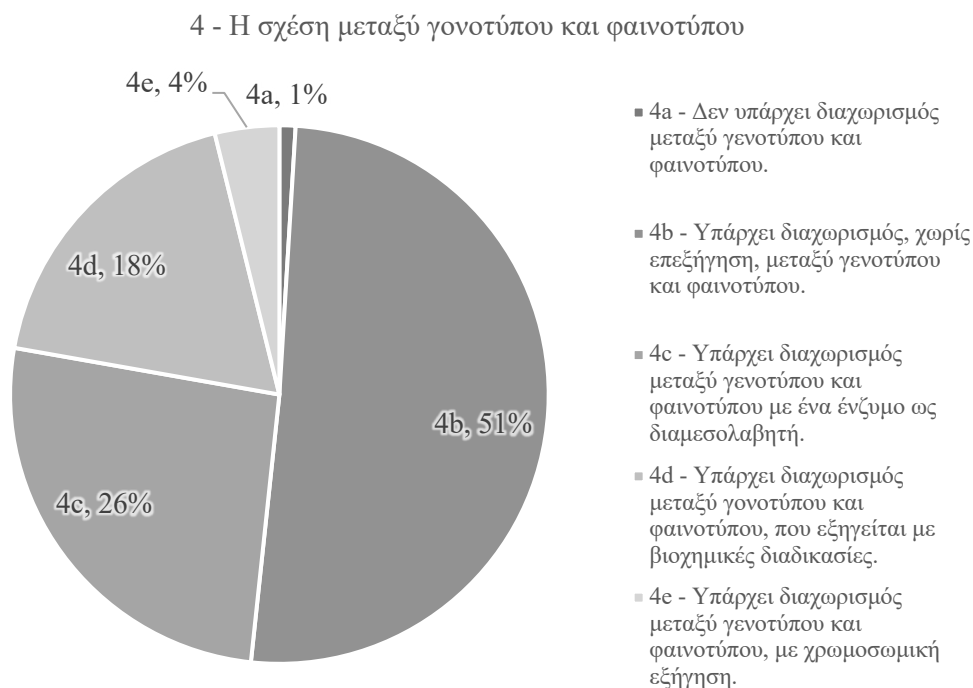
Λίγες/οι εκπαιδευτικοί αναφέρθηκαν στη γονιδιακή λειτουργία από πάνω προς τα κάτω, ξεκινώντας την περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας από το χαρακτηριστικό ή το προϊόν που αποδίδονται στο γονίδιο, όπως η εκπαιδευτικός 19.

Εκπαιδευτικός 19: [...] Ουσιαστικά οι ομοιότητες ή οι διαφορές εδράζονται στις γενετικές θέσεις, στα γονίδια. Και αυτές είναι κληρονομήσιμες. Τόσο διάφορες, όσο και οι ομοιότητες φυσικά. Και έτσι διασφαλίζεις και την ποικιλομορφία εξάλλου. Με το σύνολο των αλληλόμορφων στον πληθυσμό ή στο είδος.

Επιπλέον, η συχνότητα του συνδυασμού των επιστημολογικών χαρακτηριστικών 3a και 3b, που ανήκει στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο ήταν πολύ μικρή.

4.3.1.4 Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4)

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό τέσσερα περιγράφει τη σχέση γονοτύπου και φαινοτύπου σε σχέση με το αν διαχωρίζονται από τις/τους εκπαιδευτικούς. Το πιο συχνό χαρακτηριστικό (Γράφημα 31) ήταν το 4b (51%) που ανήκει στο κλασικό μοντέλο και αντιστοιχεί στο διαχωρισμό του γονοτύπου και του φαινοτύπου, χωρίς επεξήγηση πώς συμβαίνει αυτό. Αμέσως μετά σε συχνότητα ανιχνεύθηκε το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που εξηγεί τον διαχωρισμό αυτό μέσω ενζύμων ως διαμεσολαβητές (4c – 26%) που ανήκει στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο, το 4d (18%) που η περιγραφή δίνεται μέσω βιοχημικών διαδικασιών (νεοκλασικό και σύγχρονο μοντέλο), ενώ ακολούθησαν σε πολύ μικρά ποσοστά το 4e (4%) που περιγράφει το διαχωρισμό με χρωμοσωμική εξήγησή (κλασικό μοντέλο) και το 4a (1%) κατά το οποίο δεν υπάρχει διαχωρισμός γονοτύπου – φαινοτύπου (Μεντελικό μοντέλο).



Γράφημα 31. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 4 ($N = 207$) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Οι εξηγήσεις των εκπαιδευτικών για τη σχέση μεταξύ γονοτύπου – φαινοτύπου συνήθως διαχώριζαν τις δύο έννοιες, χωρίς όμως να δίνεται κάποια εξήγηση (4b), όπως φαίνεται στο παράδειγμα του εκπαιδευτικού 11 που αναφέρθηκε στο γονίδιο ως φορέα της πληροφορίας για ένα χαρακτηριστικό, χωρίς να εξηγεί τη διαδικασία της επιρροής αυτής.

Αντίστοιχα η εκπαιδευτικός 20 απέδωσε τη διαειδική ποικιλομορφία των οργανισμών σε διαφορές στο DNA και στον αριθμός των χρωμοσωμάτων, χωρίς να περιγράφει τη γονιδιακή λειτουργία ή στοιχεία αυτής.

Εκπαιδευτικός 11: Αυτό το οποίο φέρει τις πληροφορίες, τις γενετικές για την έκφραση ενός χαρακτηριστικού, το γονίδιο. Προσπαθώ να θυμηθώ τι λέει και το βιβλίο. Το σχολικό, αλλά δε νομίζω ότι... Το γονίδιο είναι η βασική... Ο βασικός φορέας της γενετικής πληροφορίας. Μέσα σε όλο το γενετικό υλικό του οργανισμού, το οποίο φέρει την κρίσιμη πληροφορία για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, αυτό θα έλεγα ότι είναι το γονίδιο.

Εκπαιδευτικός 20: Η ποικιλομορφία σε οργανισμούς διαφορετικών ειδών οφείλεται κατά βάση στο ότι έχουν διαφορετικό DNA. Όχι τόσο στο διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων, όσο στις διαφορετικές αζωτούχες βάσεις, από τις οποίες φτιάχνεται το γενετικό τους υλικό, άρα έχουν και διαφορετικά γονίδια που ελέγχουν ενδεχομένως διαφορετικές λειτουργίες, άλλοι έχουν περισσότερα αλλά έχουν λιγότερα. Οπότε η ποικιλομορφία στηρίζεται κυρίως στο DNA θα έλεγα.

Όταν η περιγραφή της σχέσης γονότυπου – φαινότυπου περιγραφόταν με ένα ένζυμο ή μία πρωτεΐνη ως διαμεσολαβητή (4c), αυτό συνήθως γινόταν όταν περιέγραφαν την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου φαινοτύπου, όπως το χρώμα του δέρματος στον άνθρωπο (εκπαιδευτικός 15) ή μεταλλάξεις στην παραγωγή της αιμοσφαιρίνης που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία του οργανισμού (εκπαιδευτικός 17).

Εκπαιδευτικός 15: Επίδραση ακτινοβολιών στο DNA, μπορεί να αλλοιώσει το DNA. Επίδραση συγκεκριμένων άλλων πρωτεϊνών που βρίσκονται στο περιβάλλον, μπορούν να επιδράσουν στην ανάπτυξη ενός οργανισμού. Αν μιλάμε π.χ. για το χρώμα του δέρματος, το πώς επηρεάζεται η έκφραση παραγωγής της μελανίνης από την έκθεση στον ήλιο, για να προστατευτεί.

Εκπαιδευτικός 17: Από τα απλά παραδείγματα του στυλ ότι θα κωδικοποιεί κάποια πεπτιδική αλυσίδα και έτσι θα φτιάχνεται μια πρωτεΐνη, ας πούμε η αλυσίδα Β της αιμοσφαιρίνης και θα φτιάχνει την αιμοσφαιρίνη που θα κάνει μια δουλειά. Και βλέπουμε κιόλας αυτό ότι όταν έχεις κάποια μετάλλαξη ή κάτι δε λειτουργεί καλά έχεις και κάποια δυσλειτουργία στον οργανισμό ας πούμε. Μέχρι

διαφορά, λειτουργικά μόρια που θα παίζουν ρόλο στις δουλειές και σε αυτό που θα κάνει το κύτταρο.

Η πιο σύγχρονη θεώρηση της σχέσης γονοτύπου – φαινοτύπου (4d) είχε πιο ισχυρή παρουσία στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών (18%) από ότι σε αυτές των μαθητριών/τών (5%), και ανιχνεύθηκε σε περιπτώσεις που οι εκπαιδευτικοί περιέγραφαν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τη διαδικασία της μεταγραφής και της μετάφρασης (εκπαιδευτικός 13) ή/και το ρόλο του παραγόμενου προϊόντος (εκπαιδευτικός 6).

Εκπαιδευτικός 13: {Τα γονίδια} είναι τμήματα DNA που με συγκεκριμένη αλληλουχία βάσεων, καθορίζουν είτε τη σύνθεση ενός πεπτιδίου ή κάποιου άλλου είδους RNA, tRNA, rRNA, διαφόρων ειδών RNA τελοσπάντων, εκτός από το mRNA που παράγει πρωτεΐνες. Τα περισσότερα γονίδια βεβαίως οδηγούν στη σύνθεση κάποιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας, συνήθως δηλαδή μιας πρωτεΐνης, αλλά υπάρχουν κι άλλα είδη γονιδίων που παράγουν άλλα είδη RNA.

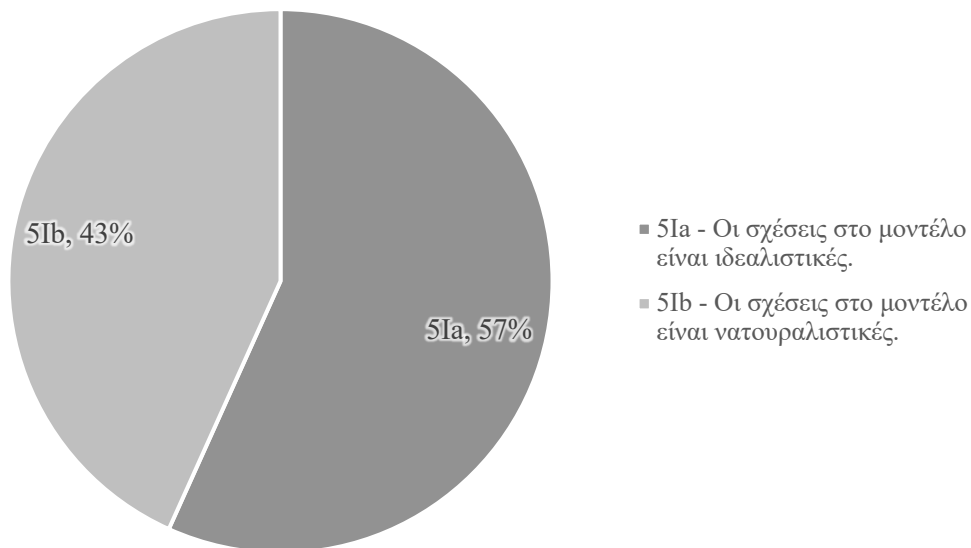
Εκπαιδευτικός 6: [...] Το πρώτο βήμα είναι να γίνει η μεταγραφή, περνάμε δηλαδή από την πληροφορία που είναι γραμμένη στο DNA, μεταβιβάζεται σε ένα μόριο που λέγεται αγγελιοφόρο RNA, αυτό που αγγελεύει, έτσι. Επικοινωνεί την πληροφορία. Ε, η πληροφορία, λοιπόν, μέσω του RNA φτάνει στα ριβοσώματα, τα οποία είναι τα οργανίδια που φτιάχνουν τις πρωτεΐνες των κυττάρων. Τα πάντα στα κύτταρα κατασκευάζονται μέσω των πρωτεϊνών και λειτουργούν. Άρα, ουσιαστικά το DNA μας είναι το μέσο με το οποίο φτιάχνουμε πρωτεΐνες. Το χρώμα των μαλλιών φτιάχνεται από συγκεκριμένες πρωτεΐνες, π.χ. η μελανίνη φτιάχνει το μαύρο χρώμα μαλλιών και η θεοχρωματίνη, δε θυμάμαι πως λέγεται τώρα, συγγνώμη, φτιάχνει το κόκκινο χρώμα μαλλιών. Άρα, αναλόγως με το ποιο γονίδιο θα εκφραστεί, θα και αυτή η μία πρωτεΐνη ή η άλλη στα ριβοσώματα των κυττάρων.

Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά 4e, και 4a ανιχνεύθηκαν σε πολύ λίγες μονάδες ανάλυσης, σε ποσοστά 4% και 1% αντίστοιχα.

4.3.1.5 Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα (5)

Στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών επικράτησε η περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των οντοτήτων του μοντέλου της γονιδιακής λειτουργίας ως ιδεαλιστικών σχέσεων με αφηρημένη ή καμία σύνδεση με φυσικές διαδικασίες (5Ia – 57%), έναντι των βιοχημικών διαδικασιών (5Ib – 43%) (Γράφημα 32). Οι ιδεαλιστικές σχέσεις εμφανίζονται στο Μεντελικό μοντέλο, στο κλασικό και το βιοχημικό-κλασικό, ενώ στο νεοκλασικό και στο σύγχρονο οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων εμφανίζονται νατουραλιστικές.

5 - Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεις στα μοντέλα



Γράφημα 32. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 5I (N = 180) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

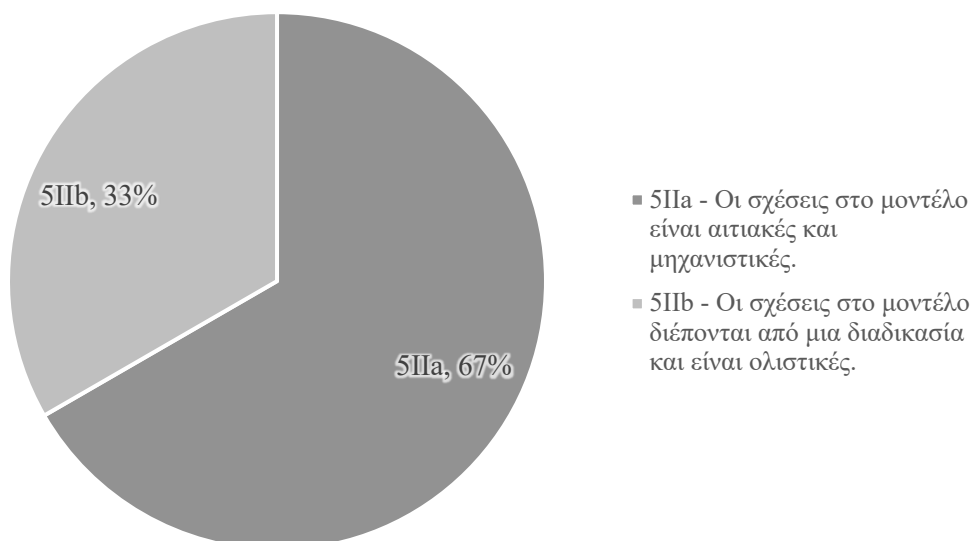
Ενδεικτικά, η εκπαιδευτικός 21 αναφέρεται στη γονιδιακή λειτουργία, χωρίς να εξηγήσει τη διαδικασία εμφάνισης των χαρακτηριστικών του φαινοτύπου από το γονότυπο που κληρονομείται (5Ia). Αντίθετα, ο εκπαιδευτικός 5 στο παρακάτω απόσπασμα, περιγράφει μέσω βιοχημικών διαδικασιών τη γονιδιακή λειτουργία (5Ib).

Εκπαιδευτικός 21: Τα γονίδια τους αναμειγνύονται και ανάλογα με το ποια είναι επικρατή και ποια είναι υπολειπόμενα, ή και με πολυγονιδιακούς χαρακτήρες, που έχουμε το τελικό αποτέλεσμα, τον οργανισμό εμφανισιακά το φαινότυπο. Είναι ο γονότυπος και ο φαινότυπος. Ο γονότυπος τον κληρονομούμε από τους

γονείς μας και πώς τα χαρακτηριστικά των δύο συνδυάζονται και πώς αυτά τελικά να έχουν το αποτέλεσμα στο φαινότυπο.

Εκπαιδευτικός 5: Η γενετική πληροφορία δεν αφορά αποκλειστικά κάποια την παραγωγή πρωτεϊνών, αφορά γενικότερα την παραγωγή μορίων RNA. Μία κατηγορία από τα μόρια του RNA, αυτή του mRNA, του messenger RNA, του αγγελιοφόρου RNA όπως επίσης ονομάζεται, έχει την ιδιότητα να μεταφέρεται στη συνέχεια από τον πυρήνα, αν μιλάμε για ευκαρυωτικά κύτταρα γιατί ξεκίνησα από τον άνθρωπο.. ε.. α μεταφέρεται τελοσπάντων από το σημείο.. να συντίθεται λοιπόν με καλούπι το DNA, συντίθενται τα μόρια του RNA. Τα συγκεκριμένα μόρια του mRNA περιέχουν την πληροφορία.. εεε.. για τη σύνθεση συγκεκριμένου προϊόντος. Οι πρωτεΐνες τώρα με τη σειρά τους έχουν διαφορετικούς ρόλους και ουσιαστικά καθορίζουν τα χαρακτηριστικά, όχι αποκλειστικά μόνες τους, αλλά σε συνδυασμό πάντοτε και με το περιβάλλον στο οποίο υπάρχει. [...] και όπως είπαμε η αλληλεπίδραση ανάμεσα στον γονότυπο και το περιβάλλον είναι αυτό που καθορίζει τον φαινότυπο. Σε άλλες περιπτώσεις επηρεάζει το περιβάλλον, σε άλλες περιπτώσεις καθορίζει λιγότερο ή καθόλου.

5 - Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεις στα μοντέλα



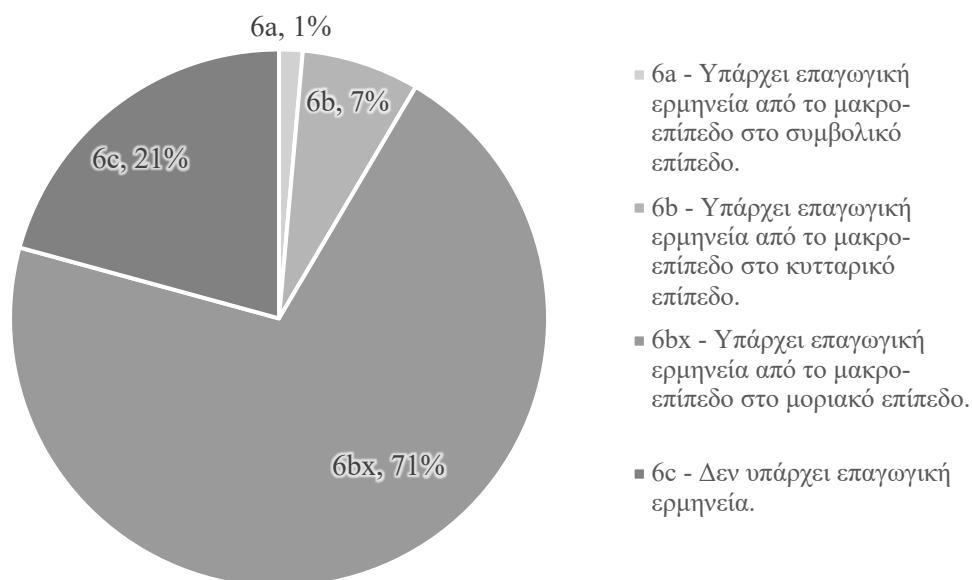
Γράφημα 33. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 5II (N = 111) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Οι περισσότερες/οι εκπαιδευτικοί περιέγραφαν τη γονιδιακή λειτουργία με όρους αιτιώδους και μηχανιστικής σχέσης (5IIa – 67%) (Γράφημα 33) της οποίας κεντρική θεώρηση είναι ότι «το γονίδιο καθορίζει ένα χαρακτήρα/χαρακτηριστικό» που εμπίπτει στα πρώτα τέσσερα ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό και νεοκλασικό), ενώ πιο λίγες/οι χρησιμοποίησαν βιοχημικές διεργασίες και ολιστικές περιγραφές (5IIb – 33%), όπου τα γονίδια λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο σε διαφορετικά πλαίσια (δηλ. σε διαφορετικά κύτταρα και οργανισμούς) και οι διαδικασίες θεωρούνται πιο δυναμικές και όχι ντετερμινιστικές, στοιχεία που υπάρχουν στο σύγχρονο μοντέλο. Στα παραπάνω αποσπάσματα συνεντεύξεων, η εκπαιδευτικός 21 αναφέρεται σε ξεκάθαρη αιτιακή σχέση μεταξύ γονοτύπου – φαινοτύπου (5IIa), καθώς οι χαρακτήρες και τα εμφανισιακά χαρακτηριστικά «έχουν αποτέλεσμα στο φαινότυπο». Αντιθέτως, ο εκπαιδευτικός 5 τονίζει τη συνδρομή του περιβάλλοντος στη γονιδιακή λειτουργία, οπότε αποδίδει μια δυναμική διαδικασία και όχι ντετερμινιστική.

4.3.1.6 Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας (6)

Στην πλειοψηφία των αντιλήψεων των μαθητριών (Γράφημα 34) υπάρχει παρουσία επαγωγικής ερμηνείας από το μακρο-επίπεδο στο μοριακό επίπεδο (6bx – 71%), μεταβλητή που κυριαρχεί σε θεματικές ή κεφάλαια βιοχημείας σε σχολικά εγχειρίδια βιολογίας σύμφωνα με τους Gericke και Hagberg (2010b) και δεν ανήκει σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα για τη γονιδιακή λειτουργία. Η σύνδεση των δύο αυτών οργανωτικών επιπέδων συνήθως συνδεόταν και με τα επίπεδα των οντοτήτων που χρησιμοποιούσαν οι εκπαιδευτικοί περιγράφοντας τη γονιδιακή λειτουργία, που συνήθως ήταν το φαινοτυπικό και το μοριακό (2Icy). Λιγότερο συχνή ήταν η απουσία επαγωγικής ερμηνείας (6c – 21%) εφόσον όλες οι οντότητες περιγράφονταν στο μοριακό επίπεδο, ακολούθησε η επαγωγική ερμηνεία από το μακρο-επίπεδο στο κυτταρικό (6b – 7%), ενώ σπάνια ερμηνεύτηκε η γονιδιακή λειτουργία σε συμβολικό επίπεδο (6a – 1%).

6 - Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας



Γράφημα 34. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 6 (N = 212) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Ομοίως με τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, οι εκπαιδευτικοί ερμήνευαν συνήθως έναν φαινότυπο στο μακρο-επίπεδο επαγωγικά στο μοριακό επίπεδο (6bx), αναφερόμενες/οι στο φαινότυπο ενός οργανισμού (μακρο-επίπεδο) μέσω της έκφρασης των γονιδίων (μοριακό επίπεδο), όπως η εκπαιδευτικός 6. Επιπλέον, όταν οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούσαν παραλλαγές της φράσης «τα γονίδια καθορίζουν ένα χαρακτηριστικό» ή «γονίδια για ένα/κάποιο χαρακτηριστικό» τότε θεωρούνταν ότι υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο-στο μοριακό επίπεδο, όπως στο λόγο της εκπαιδευτικού 9 παρακάτω.

Εκπαιδευτικός 6: Ο φαινότυπος λοιπόν είναι ο τρόπος με τον οποίο εκφράζονται όλα μας αυτά τα γονίδια και φαινόμενα ακριβώς έτσι όπως είμαστε ή έχουμε μια συγκεκριμένη σύσταση στο σώμα μας ή μπορεί να έχουμε μία κληρονομική ασθένεια ή οτιδήποτε άλλο. Δομεί δηλαδή και το εξωτερικό μας και το εσωτερικό μας. Και η έκφραση αυτών των γονιδίων.

Εκπαιδευτικός 9: [...] Δηλαδή έχουμε ένα συγκεκριμένο gene pool το οποίο όσο προχωράει, προχωράνε τα χρόνια, προχωράει εξέλιξη εξελίσσονται κάποια γονίδια, αλλά κάποια, ειδικά τα γονίδια αυτά που λέμε housekeeping genes, όποια είναι βασικά για τις λειτουργίες, για τις βασικές λειτουργίες ενός κυττάρου

σίγουρα είναι τα ίδια πάνω-κάτω σε όλα αυτά τα άτομα του είδους. Ή υπάρχουν τελοσπάντων παρόμοια αλληλόμορφα. Δηλαδή μπορείς να βρεις παρόμοια αλληλόμορφα σε αυτά τα συγκεκριμένα άτομα, και το ίδιο μετά ισχύει και για άλλα γονίδια τα οποία μπορεί να μην ανήκουν στα housekeeping genes, αλλά να ανήκουν σε γονίδια για διάφορα άλλα χαρακτηριστικά. [...]

Η απουσία επαγωγικής ερμηνείας (6c) καταγράφηκε όταν οι οντότητες που χρησιμοποιούσαν στις περιγραφές τους οι εκπαιδευτικοί ανήκαν όλα στο μοριακό επίπεδο. Ο εκπαιδευτικός 15, για παράδειγμα, που περιέγραψε τη γονιδιακή έκφραση και λειτουργία, με τη συμμετοχή υποκινητών και μεταγραφικών παραγόντων έως την παραγωγή πρωτεϊνών, με όλες δηλαδή οι οντότητες, δηλαδή, να ανήκουν στο μοριακό επίπεδο. Ο εκπαιδευτικός 14, όρισε τη λειτουργία της παραγόμενης πρωτεΐνης ως το φαινότυπο, οπότε όλη η περιγραφή της γονιδιακής έκφρασης πραγματοποιήθηκε στο μοριακό επίπεδο.

Εκπαιδευτικός 15: Το γονίδιο μπορεί να συνδεθεί με την παραγωγή μιας πρωτεΐνης, ακριβώς. Βέβαια, για να μπορέσει να γίνει αυτή η έκφραση, χρειάζονται και άλλου είδους ή μάλλον, και άλλες περιοχές, όπως για παράδειγμα ο υποκινητής, όπως για παράδειγμα ένζυμα. [...] Χρειάζονται ουσιαστικά πρωτεΐνες, χρειάζονται ένζυμα, χρειάζονται υποκινητές, χρειάζονται μεταγραφικοί παράγοντες, χρειάζονται αμινοξέα, για να μπορέσει ουσιαστικά να σταθεί και να δημιουργηθεί η πρωτεΐνη.

Εκπαιδευτικός 14: Γονότυπος είναι μια αλληλουχία DNA συγκεκριμένη που φτιάχνει, που κωδικοποιεί μια, φέρει μια πληροφορία για να φτιαχτεί ένα RNA που θα οδηγήσει σε μια πρωτεΐνη. Η πρωτεΐνη είναι το πρώτο κομμάτι του γονότυπου, και η λειτουργία της πρωτεΐνης ουσιαστικά είναι το πρώτο κομμάτι του φαινότυπου, η λειτουργία της πρωτεΐνης είναι ο φαινότυπος, το πως εκφράζεται και τι δουλειά κάνει.

Η επαγωγική ερμηνεία του μακρο-επιπέδου από το κυτταρικό επίπεδο (6b) ανιχνεύθηκε σε λίγες μονάδες ανάλυσης των συνεντεύξεων των εκπαιδευτικών, στις περιπτώσεις όπου αυτές/οί περιλάμβαναν χρωμοσώματα ή οργανίδια του κυττάρου στις εξηγήσεις τους, όπως ο εκπαιδευτικός 11, ή η εκπαιδευτικός 18 στην εξήγησή της περί εμφάνισης παχυσαρκίας ως φαινότυπο.

Εκπαιδευτικός 11: Οι γονείς λοιπόν κληρονομούν τα μισά χαρακτηριστικά... κληρονομούν όλα τα χαρακτηριστικά τους, αλλά το θέμα είναι τι φαίνεται. Είναι ο γονότυπος και ο φαινότυπος. Και αυτό που κληρονομούν είναι επίσης μια μικρή αλλαγή που συμβαίνει στα... στους συνδυασμούς τους, στα γαμετικά κύτταρα. Είναι αυτό που λέμε ο επιχιασμός και ο ανεξάρτητος συνδυασμός χρωμοσωμάτων.

Εκπαιδευτικός 18: Γιατί μπορεί να κληρονομήσεις κάτι που να σχετίζεται με την εμφάνιση μιας ασθένειας αλλά να μην εμφανιστεί ποτέ σε σένα γιατί κάποιιοι περιβαλλοντικοί παράγοντες θα επιδράσουν σε αυτό, άρα έχεις μια μάλλον έχεις μια τάση, που σχετίζεται φαντάζομαι με τη λειτουργία των λιποκυττάρων με το πόσο μεγάλα είναι τα λιποκύτταρα ή από μικρό... έχω διαβάσει και το άλλο, ότι άμα από μικρό παιδί κάποιο, αν κάποιο παιδί είναι πιο παχύ από το φυσιολογικό από μικρότερο, και τα λιποκύτταρα στην ουσία σαν να εκτείνονται αρκετά, μαθαίνουν να αποθηκεύουν περισσότερο λίπος. [...]

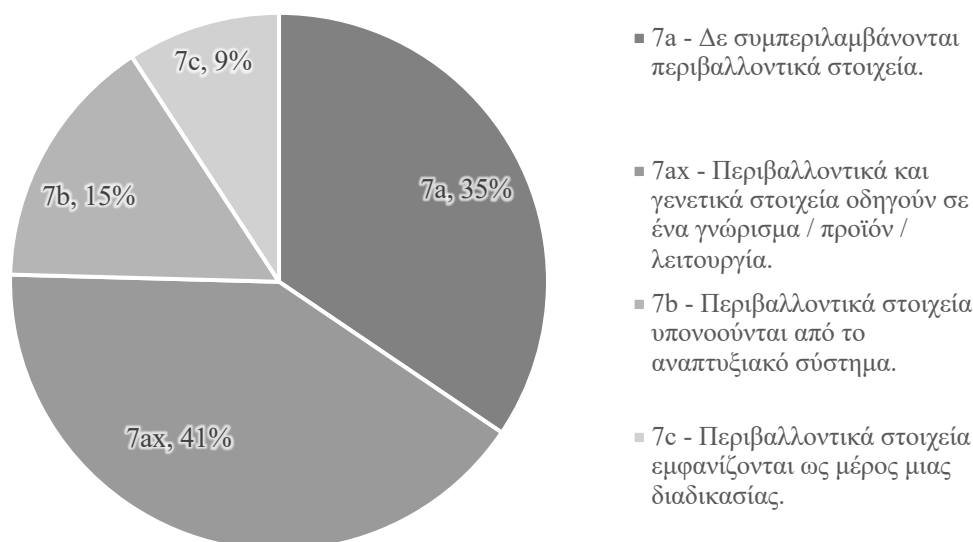
Στη σπάνια περίπτωση της επαγωγικής ερμηνείας από το μακρο-στο συμβολικό επίπεδο (6a), οι εκπαιδευτικοί δεν αναφέρονταν σε οντότητες του μοριακού επιπέδου, ενώ απέδιδαν την εμφάνιση ενός φαινότυπου (μακρο-επιπέδου) όχι μέσω συγκεκριμένων βιολογικών μονάδων, αλλά με θεωρητικές αφαιρέσεις όπως η παρομοίωση με οδηγίες στο σκληρό δίσκο που χρησιμοποίησε ο εκπαιδευτικός 11.

Εκπαιδευτικός 11: Γονότυπος είναι ας πούμε οι οδηγίες που υπάρχουν στο σκληρό δίσκο. Μπορεί να έχω οδηγίες για μαύρα μαλλιά, μπορεί να έχω οδηγίες από τη μάνα μου για ξανθά μαλλιά. Αυτό που φαίνεται όμως είναι συνήθως το ένα από τα δύο. Φαίνονται δηλαδή τα μαύρα μαλλιά. Υπάρχει περίπτωση, για άλλο χαρακτηριστικό, απλά θα τα πω για το ίδιο, να φαίνεται κάτι ενδιάμεσο. Παραδείγματος χάριν, το καστανό μαλλί, το οποίο είναι ανάμεσα στο ξανθό και σε μελαχρινό. Και υπάρχει μετά και μια άλλη περίπτωση, όπως οι γάτες η τρίχρωμες, να είναι σε κάθε τρίχα διαφορετικό χρώμα, αλλά από μακριά να φαίνονται ένα ενιαίο χρώμα. Τώρα δε θυμάμαι πως λέγεται αυτό. Αυτό που φαίνεται, λοιπόν, αυτό που εκφράζεται από κάθε κύτταρο είναι ο φαινότυπος. Γονότυπος όμως μπορεί να έχει τις οδηγίες... Στο γονότυπο μπορεί να έχει αυτό το άτομο οδηγίες από τους δύο γονείς, είτε την ίδια οδηγία αλλά είτε και διαφορετική οδηγία, αλλά να φαίνεται μόνο μία και να εκφράζεται.

4.3.1.7 Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων (7)

Στην πλειοψηφία των μονάδων ανάλυσης οι εκπαιδευτικοί περιέγραφαν ένα γνώρισμα/ προϊόν/ λειτουργία ως αποτέλεσμα συμβολής από κοινού περιβαλλοντικών και γενετικών στοιχείων ως ανεξάρτητοι παράγοντες (7ax – 41%), ενώ σε αρκετές περιπτώσεις δε συμπεριλάμβαναν περιβαλλοντικά στοιχεία (7a – 35%) όταν αναφέρονταν στη γονιδιακή λειτουργία, ενώ (Γράφημα 35). Σε λίγες μονάδες ανάλυσης ενσωμάτωναν στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας ρυθμιστικά στοιχεία που υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα (7b – 15%), ενώ υπήρξε λίγες καταγραφές της μεταβλητής που περιγράφει τα περιβαλλοντικά στοιχεία ως μέρος μιας διαδικασίας (7c – 9%) και αναφέρεται σε σύγχρονες έννοιες στη γενετική όπως η επιγενετική.

7 - Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων



Γράφημα 35. Κατανομή του επιστημολογικού χαρακτηριστικού 7 (N = 293) στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις που οι εκπαιδευτικοί συμπεριλάμβαναν περιβαλλοντικούς παράγοντες στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας, οι μονάδες ανάλυσης χαρακτηρίζονταν από τη μεταβλητή 7ax, που δεν ανήκει σε κάποιο ιστορικό μοντέλο για τη γονιδιακή λειτουργία. Στην εξήγηση του εκπαιδευτικού 8 για την επιρροή του περιβάλλοντος στη διαμόρφωση χαρακτηριστικών στον άνθρωπο, αυτός διατυπώνει τη συνδρομή γονοτύπου και περιβάλλοντος ως εξίσωση για το αποτέλεσμα του φαινοτύπου. Σε

άλλη περίπτωση, η εκπαιδευτικός 12 περιγράφει την αλληλεπίδραση γονοτύπου – περιβάλλοντος για την εμφάνιση του φαινοτύπου του χρώματος των ματιών στον άνθρωπο.

Εκπαιδευτικός 8: Το περιβάλλον είναι... Στη βιολογία χρησιμοποιούμε την εξίσωση φαινότυπος = γονότυπος + περιβάλλον. Όπου το φαίνεσθαι, τα χαρακτηριστικά ενός ατόμου τα μορφολογικά, βιοχημικά, λειτουργικά χαρακτηριστικά που μπορούμε να παρατηρήσουμε, ο λεγόμενος φαινότυπος, προκύπτει από την αλληλεπίδραση του γενετικού υλικού με το περιβάλλον, και όταν λέμε περιβάλλον μπορεί να είναι οτιδήποτε, μπορεί να είναι από τρόπο ζωής, διατροφή, ακτινοβολίες, φαρμακευτική αγωγή, τα πάντα όλα [...]

Εκπαιδευτικός 12: Ναι, και το χρώμα των ματιών. Φαντάζομαι ότι επηρεάζεται κι αυτό, φυσικά επηρεάζεται από το γονότυπο, έτσι. Και υπάρχουν και πολλά διαφορετικά αλληλόμορφα, όχι μόνο ένα, και επηρεάζεται και από το περιβάλλον, εννοώντας τη διατροφή και την... Τι ήθελα να πω: Συγγώμη, τη διατροφή και το περιβάλλον, τις συνθήκες...

Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 7a που ανήκει στα πρώτα τρία ιστορικά μοντέλα (Μεντελικό, κλασικό, βιοχημικό-κλασικό), ανιχνεύθηκε σε πολλές μονάδες ανάλυσης, στις περιγραφές των εκπαιδευτικών της γονιδιακής λειτουργίας. Η εκπαιδευτικός 1, λόγου χάρη, στον ορισμό της δομής και της λειτουργίας του γονιδίου δεν αναφέρεται καθόλου σε επιρροή περιβαλλοντικών παραγόντων, ή ο εκπαιδευτικός 14 που ερμηνεύει αιτιακά και χωρίς τη συνδρομή περιβαλλοντικών παραγόντων, τη σύνθεση πρωτεΐνης που επάγει την εμφάνιση του φαινοτύπου όπως το χρώμα των ματιών.

Εκπαιδευτικός 1: Γονίδιο είναι η ελάχιστη μονάδα αποθήκευσης της γενετικής πληροφορίας. Είναι ένα κομματάκι DNA με συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων, αυτό με την πορεία της γονιδιακής έκφρασης, θα καταλήξει να δώσει συνήθως μία πρωτεΐνη, η οποία με τη σειρά της συνδέεται με την εμφάνιση ενός χαρακτηριστικού σε έναν οργανισμό.

Εκπαιδευτικός 14: Τεχνικά στο φαινότυπο, ένα χαρακτηριστικό σε κάποιον οργανισμό, η έκφραση αυτού του χαρακτηριστικού είναι ο φαινότυπος του. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να είναι ένα προϊόν, μια πρωτεΐνη που επάγει την εμφάνιση κάποιου χαρακτηριστικού, παράδειγμα, λέμε στο πιο απλό, στο χρώμα του δέρματος, στο χρώμα ματιού και λοιπά, έτσι. Ως κάτι αθροιστικό, ως κάτι

συνολικό. Από κει και πέρα πηγαίνοντας και πιο πίσω, ο γονότυπος είναι η αλληλουχία εκείνη η οποία θα οδηγήσει στη σύνθεση αυτής της πρωτεΐνης. Η αλληλουχία εκείνη του γενετικού υλικού που θα οδηγήσει στη σύνθεση μίας πρωτεΐνης.

Η συμπερίληψη περιβαλλοντικών στοιχείων από το αναπτυξιακό σύστημα στη γονιδιακή λειτουργία (7b), που είναι επιστημολογικό χαρακτηριστικό του νεοκλασικού μοντέλου, εντοπίστηκε σε μονάδες ανάλυσης όπου οι εκπαιδευτικοί εκφράζαν τη δυναμικότητα της γονιδιακής λειτουργίας, ανάλογα με τις ανάγκες ενός οργανισμού (εκπαιδευτικός 14) ή θεωρούσαν συνεχή την περιβαλλοντική επιρροή σε αυτή κατά την ανάπτυξη ενός οργανισμού (εκπαιδευτικός 4).

Εκπαιδευτικός 14: Για παράδειγμα, όσον αφορά την ανάπτυξη ενός οργανισμού. Γονοτυπικά παρέχεται ένα συγκεκριμένο παράθυρο ανάπτυξης που μπορεί να έχει κάποιος, όμως το περιβάλλον θα καθορίσει αν θα βρεθείς στο άνω ή στο κάτω παράθυρο του... πάνω ή το κάτω πλαίσιο του παραθύρου ανάπτυξης.

Εκπαιδευτικός 4: Ε, θεωρώ ότι πρέπει να είναι κρίσιμο και κάποιο σημείο, δηλαδή αν αυτό το γονίδιο εκφράζεται πάντα, θα επηρεάζει καθ' όλη τη διάρκεια και ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Αν όμως το γονίδιο εκφράζεται ας πούμε στα πρώτα στάδια της ζωής μας, ή εκφράζεται όταν είμαστε έμβρυα, ή εκφράζεται αργότερα, στην εφηβεία, θεωρώ ότι το κρίσιμο σημείο για να επιδράσει ο περιβαλλοντικός παράγοντας θα είναι αυτό.

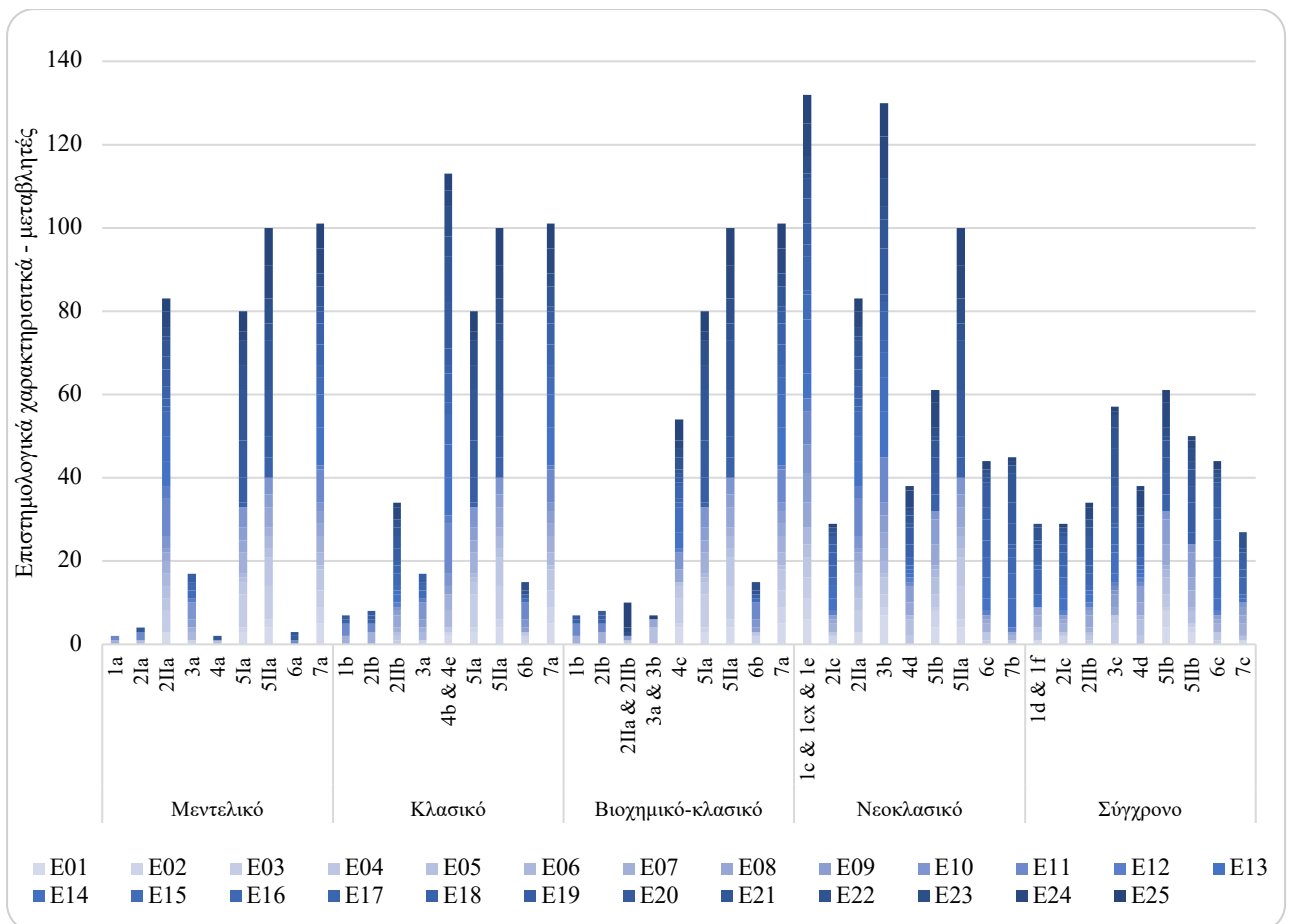
Τέλος, το επιστημολογικό χαρακτηριστικό 7c, που χαρακτηρίζει το σύγχρονο μοντέλο, ανιχνεύθηκε σε μονάδες ανάλυσης όπου τα περιβαλλοντικά στοιχεία παρουσιάζονταν ενσωματωμένα στη διαδικασία της γονιδιακής λειτουργίας και αναφέρονται και σύγχρονα στοιχεία της επιστήμης της Βιολογίας όπως η επιγενετική.

Εκπαιδευτικός 16: Δηλαδή πέραν από τους ενδογενείς μηχανισμούς ρύθμισης, οι οποίοι πραγματικά είναι, τι να πω, δαιδαλώδεις. Η πολυπλοκότητα τους εννοώ. Μετά έχουμε τους επιγενετικούς μηχανισμούς ρύθμισης. Δηλαδή από τη μεθυλίωση των κυτοσινών και την ακετυλίωση των ιστονών και άπειρες τροποποιήσεις που μπορεί να επέλθουν από τα πάντα. Από τις τροφές, από το τι εισπνέουμε, από τα φάρμακα, από τα μικρόβια που μας έχουνε μολύνει, από τα συναισθήματα τα οποία βιώνει κάποιος, είναι νομίζω... Τώρα αρχίζουμε να

καταλαβαίνουμε, να παίρνουμε μυρωδιά τι σημαίνει επιγενετική ας πούμε και να ανακαλύπτουμε έναν καινούργιο κόσμο στη βιολογία. Άρα η έννοια του γονιδίου, ίσως το καινούργιο πράγμα που, τουλάχιστον στο δικό μυαλό έχει μπει στην έννοια του γονιδίου.

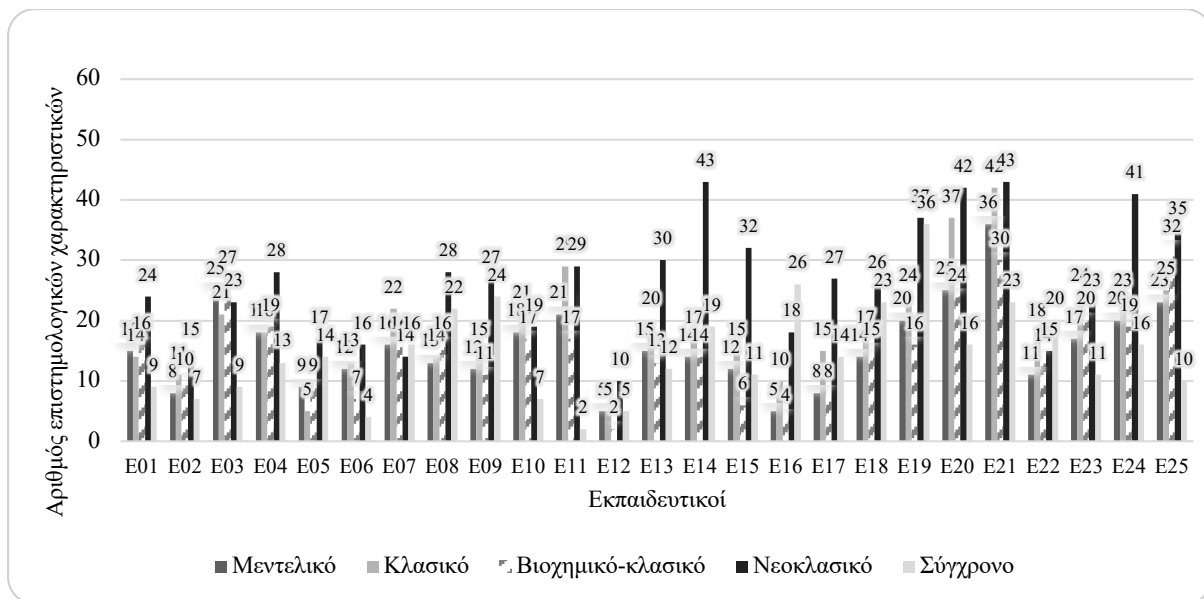
4.3.2 Ιστορικά μοντέλα στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών

Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά-παραλλαγές χρησιμοποιήθηκαν επίσης για την περιγραφή των πέντε ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία. Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά ανά μαθήτρια/τή κατατάχθηκαν στις πέντε κατηγορίες των ιστορικών μοντέλων: την κατηγορία Μεντελικού, την κατηγορία του κλασικού μοντέλου, κατηγορία βιοχημικού-κλασικού μοντέλου, την κατηγορία νεοκλασικού μοντέλου και την κατηγορία σύγχρονου μοντέλου (Γράφημα 36). Τα κοινά επιστημολογικά-χαρακτηριστικά των μοντέλων συνυπολογίστηκαν σε κάθε μία από τις κατηγορίες μοντέλων στις οποίες ανήκαν. Σε αντίθεση με την εικόνα των μοντέλων στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών εμφανίζουν αρκετά χαρακτηριστικά σε όλα τα ιστορικά μοντέλα, ενώ, παρομοίως, σε όλες τις κατηγορίες ανιχνεύθηκαν χαρακτηριστικά. Ακόμα, αναδεικνύονται οι συχνότητες των αποκλειστικών για το κάθε μοντέλο χαρακτηριστικών.



Γράφημα 36. Επιστημολογικά χαρακτηριστικά ($N = 1731$) ανά μοντέλο, όπως εμφανίζονται στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών.

Στην αναλυτική παρουσίαση των ιστορικών μοντέλων ανά εκπαιδευτικό (Γράφημα 37) παρουσιάζονται τα μοντέλα που εμφανίζονται στις αντιλήψεις τους με βάση τις αντιπροσωπευτικές τους μεταβλητές. Όλα τα ιστορικά μοντέλα ανιχνεύονται από τα κοινά και αποκλειστικά/μοναδικά τους χαρακτηριστικά σε κάθε εκπαιδευτικό.



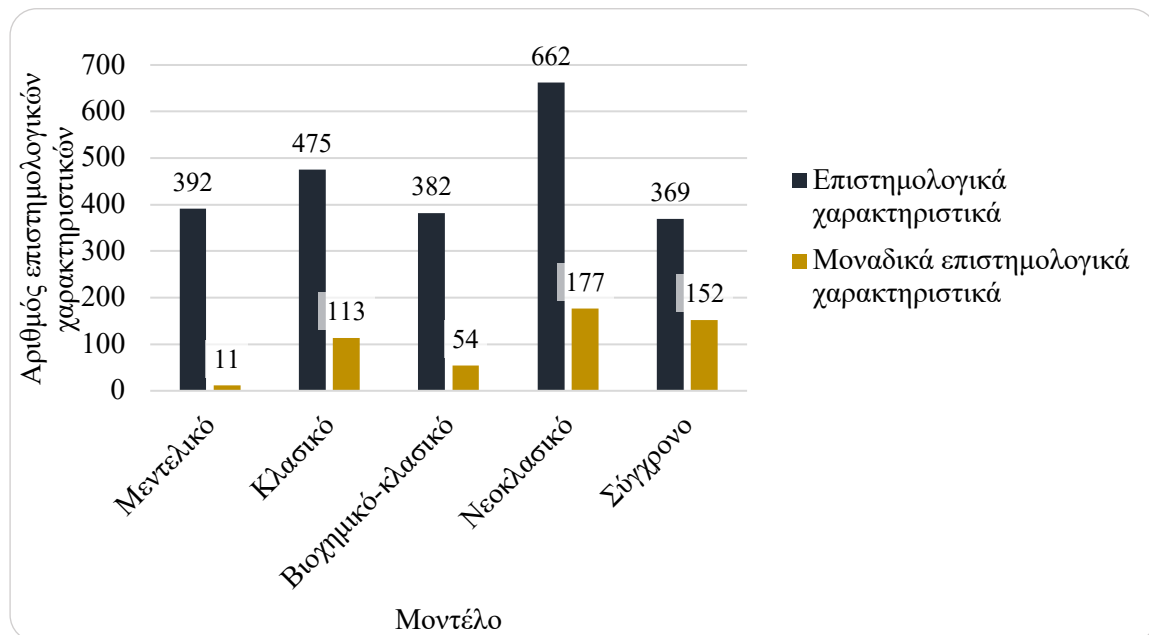
Γράφημα 37. Επιστημολογικά χαρακτηριστικά ανά ιστορικό μοντέλο, ανά εκπαιδευτικό (N = 1731).

Στο Γράφημα 38, όπου αναδεικνύονται συνολικά τα ιστορικά μοντέλα στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, ξεχωρίζει το νεοκλασικό μοντέλο σε αριθμό επιστημολογικών χαρακτηριστικών που το αντιπροσωπεύει από τα υπόλοιπα τέσσερα μοντέλα. Συγκεκριμένα, για το νεοκλασικό μοντέλο ανιχνεύθηκαν 662 επιστημολογικά χαρακτηριστικά, για το κλασικό 475, για το Μεντελικό 392, για το βιοχημικό-κλασικό 382, και τέλος, για το σύγχρονο 369. Από τη στιγμή που τα ιστορικά μοντέλα μοιράζονται μεταξύ τους αρκετά κοινά επιστημολογικά χαρακτηριστικά, και εφόσον έχουν συνυπολογιστεί αυτά τα κοινά σε κάθε μοντέλο που μοιράζονται, παρουσιάζονται τα σύνολα μαζί με τα αποκλειστικά/μοναδικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν για κάθε μοντέλο.

Από τη συχνότητα των μοναδικών χαρακτηριστικών-μεταβλητές φαίνεται πως το νεοκλασικό μοντέλο που εμφανίζει και το μεγαλύτερο αριθμό συνολικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών αντιπροσωπεύεται στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών σε μεγάλο βαθμό από τα μοναδικά του (177). Ομοίως, το σύγχρονο, του οποίου τα αποκλειστικά χαρακτηριστικά (152) αποτελούν το 40% των χαρακτηριστικών που ανιχνεύτηκαν για το μοντέλο αυτό.

Όπως φαίνεται και από το Γράφημα 36, παραπάνω, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανήκουν αποκλειστικά στο νεοκλασικό μοντέλο είναι οι 1c, 1cx, 1e που περιγράφουν τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου και η 7b που περιγράφει περιβαλλοντικά στοιχεία στη γονιδιακή λειτουργία που υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα. Παράλληλα, οι μεταβλητές που ανήκουν αποκλειστικά στο κλασικό μοντέλο και που ανιχνεύτηκαν στις

αντιλήψεις των μαθητριών/τών ήταν η 4b και η 4e που αφορούν τη σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου.



Γράφημα 38. Πλήθος επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά ιστορικό μοντέλο για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις εκπαιδευτικών ($N = 1731$) και τα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν για κάθε ιστορικό μοντέλο ($N = 597$). Το άθροισμα των συνολικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών εμφανίζεται μεγαλύτερο του πλήθους που ανιχνεύθηκαν, καθώς πολλά χαρακτηριστικά είναι κοινά για κάποια μοντέλα.

Κατηγοριοποιώντας τα επιστημολογικά-χαρακτηριστικά στα ιστορικά μοντέλα που αυτά ανήκουν, παραλείπονται τα μη ιστορικά χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κάποιο μοντέλο, αλλά ανιχνεύτηκαν ωστόσο σε τρεις κατηγορίες επιστημολογικών χαρακτηριστικών, όπου σε δύο από αυτές, 2I και 6, αποτέλεσαν τις πιο συχνές μεταβλητές για κάθε εκπαιδευτικό (Πίνακας 24). Τα μοντέλα στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δεν αντιστοιχούσαν σχεδόν σε καμία από τις μονάδες ανάλυσής των συνεντεύξεών τους με τα ιστορικά μοντέλα. Κατά συνέπεια, η χρήση υβριδικών μοντέλων ήταν κανόνας.

Η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών περιέγραφε τη δομή του γονιδίου ως ένα τμήμα DNA (1c) ή να είναι φορέας ή/και μονάδα πληροφορίας (1e), χαρακτηριστικά αποκλειστικά του νεοκλασικού μοντέλου. Συνέδεαν οντότητες στο φαινοτυπικό επίπεδο με το μοριακό (2Icy), ερμηνεύοντας επαγωγικά το μοριακό επίπεδο από το μακρο- επίπεδο (6bx) χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κανένα ιστορικό μοντέλο. Ακόμα, οι εκπαιδευτικοί συνήθως όριζαν τη γονιδιακή λειτουργία από κάτω προς τα πάνω (3b: κλασικό και βιοχημικό-κλασικό μοντέλο),

ενώ παρέλειπαν την επεξήγηση στο διαχωρισμό γονοτύπου και φαινοτύπου (4b) χαρακτηριστικό του κλασικού μοντέλου. Οι σχέσεις που παρουσίαζαν στα μοντέλα τους ήταν ιδεαλιστικές (5Ia) όπως στα τρία πρώτα ιστορικά μοντέλα, και αιτιακές και μηχανιστικές (5IIa) που εμφανίζονται σε όλα τα ιστορικά μοντέλα εκτός από το σύγχρονο. Τέλος, η πλειοψηφία δεν συμπεριλάμβανε περιβαλλοντικά στοιχεία στις εξηγήσεις τους (7a), χαρακτηριστικό των τριών πρώτων ιστορικών μοντέλων ή όταν συμπεριλάμβανε περιβαλλοντικά στοιχεία, συνήθως περιγράφονταν μαζί με γενετικά στοιχεία να οδηγούν σε ένα γνώρισμα / προϊόν / λειτουργία (7ax), που αποτελεί μη ιστορικό χαρακτηριστικό.

Πίνακας 24. Υβριδικά μοντέλα που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, όπως αυτά αντιπροσωπεύονται από τη μέγιστη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών τους ανά κατηγορία.

Εκπαιδευτικοί	Επιστημολογικά χαρακτηριστικά - μεταβλητές								
	1	2I	2II	3	4	5I	5II	6	7
E01	1c/1e	2Icy	2IIa	3b	4c	5Ib	5IIa	6bx	7a
E02	1e	2Ic	-	3b	4b/4c	5Ib	5IIa	6b	7a
E03	1e	2Icy	2IIa	3c	4c	5Ia	5IIa	6bx	7ax
E04	1e	2Icy	2IIa	3b	4c	5Ia/5Ib	5IIa	6bx	7a
E05	1e	2Icy	2IIa	3b	4d	5Ib	5IIb	6bx	7ax
E06	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ib	5IIa	6bx	7a
E07	1d	2Ib	2IIa	3b	4e	5Ia	5IIb	6bx	7a
E08	1e	2Icy	2IIb	3b	4c/4d	5Ib	5IIa	6bx	7a/7ax
E09	1e	2Icy	2IIa/2IIb	3b	4d	5Ib	5IIb	6bx	7a
E10	1e	2Ibx	2IIa	3a	4c	5Ia	5IIa	6bx	7ax
E11	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7a/7ax
E12	1c	2Icy	2IIa	3a/3c	4b	5Ib	5IIa	6c	7ax
E13	1c	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ib	5IIa	6bx	7a
E14	1c/1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ib	5IIa	6bx	7a

Πίνακας 24, συνέχεια

E15	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6c	7ax/7b
E16	1d	2Ic	2IIb	3c	4b	5Ib	5IIb	6bx/6c	7b/7c
E17	1e	2Icy	2IIa/2IIb	3b	4b	5Ib	5IIa	6c	7a
E18	1b/1c/1cx /1d/1e	2Ibx/2Ic /2Icy	2IIa	3c	4d	5Ib	5IIa	6c	7ax
E19	1e	2Icy	2IIa	3c	4b/4d	5Ia	5IIb	6bx	7b
E20	1e	2Icy	2IIa/2IIb	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax/7b
E21	1cx/1e	2Icy	2IIa	3b/3c	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax/7b
E22	1d	2Icy	2IIb	3c	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax/7c
E23	1e	2Icy	2IIa	3b	4b	5Ia	5IIa	6bx	7ax
E24	1e	2Icy	2IIa	3b	4b/4d	5Ib	5IIa	6bx	7ax
E25	1e	2Icy	2IIa	3b	4c	5Ia	5IIa	6bx	7a

Ο Πίνακας 25 παρουσιάζει τα κυρίαρχα μοντέλα στις αντιλήψεις κάθε εκπαιδευτικού σύμφωνα με τη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν και το ποσοστό υβριδισμού του κάθε μοντέλου. Το νεοκλασικό μοντέλο κυριάρχησε σε 15 εκπαιδευτικούς, με την πλειοψηφία των πληροφορητριών/τών να εμφανίζει εύρος υβριδισμού 40-60% και μέσο όρο στο σύνολο των εκπαιδευτικών που παρουσίασαν αυτό το μοντέλο στις αντιλήψεις τους 47% υβριδισμό του μοντέλου. Ακολούθησε το βιοχημικό-κλασικό που ανιχνεύθηκε στις αντιλήψεις εννιά εκπαιδευτικών με μέσο όρο ποσοστού υβριδισμού 46%, ενώ το σύγχρονο μοντέλο εντοπίστηκε σε τρεις εκπαιδευτικούς (E16, E17, E22) με μέσο ποσοστό υβριδισμού 46%. Τέλος, στις αντιλήψεις της εκπαιδευτικού 22 εμφανίστηκαν το κλασικό μοντέλο και το σύγχρονο σε ποσοστά υβριδισμού 60%.

Πίνακας 25. Συχνότητα υβριδισμού των μοντέλων στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών.

Εκπαιδευτικοί	Μοντέλο	Επίπεδο υβριδισμού (%) ^α	Μοντέλο (ισοβαθμία)	Επίπεδο υβριδισμού (%) ^α
E01	Νεοκλασικό	40		
E02	Βιοχημικό-κλασικό	40	Νεοκλασικό	40
E03	Βιοχημικό-κλασικό	56		
E04	Βιοχημικό-κλασικό	40		
E05	Νεοκλασικό	44		
E06	Νεοκλασικό	44		
E07	Βιοχημικό-κλασικό	44		
E08	Βιοχημικό-κλασικό	55	Νεοκλασικό	55
E09	Νεοκλασικό	50		
E10	Βιοχημικό-κλασικό	36		
E11	Βιοχημικό-κλασικό	50		
E12	Νεοκλασικό	50		
E13	Νεοκλασικό	44		
E14	Νεοκλασικό	40		
E15	Νεοκλασικό	40		
E16	Σύγχρονο	27		
E17	Σύγχρονο	50		
E18	Νεοκλασικό	40		
E19	Νεοκλασικό	60		
E20	Νεοκλασικό	55		
E21	Νεοκλασικό	50		
E22	Κλασικό	60	Σύγχρονο	60
E23	Βιοχημικό-κλασικό	56		
E24	Νεοκλασικό	50		
E25	Βιοχημικό-κλασικό	33		

^α Το επίπεδο υβριδισμού ισούται με τη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών, η οποία υπολογίζεται ως ο αριθμός των λανθασμένων ιστορικών χαρακτηριστικών (μη ιστορικών και αυτών που δεν ανήκουν στο κυρίαρχο μοντέλο) διαιρεμένος με το συνολικό αριθμό των χαρακτηριστικών με μεγαλύτερη συχνότητα στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών.

Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο παραπάνω κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής. Παρατέθηκαν τα αποτελέσματα της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας για την εύρεση των ιστορικών μοντέλων για τη γονιδιακή λειτουργία, μέσω των επιστημολογικών χαρακτηριστικών τους, στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών σε υπάρχουσες μελέτες. Παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της ανίχνευσης των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και βιολόγων εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Ακόμα με βάση τα ευρήματα των χαρακτηριστικών οι αντιλήψεις των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών κατατάχθηκαν στα αντίστοιχα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο. Επίσης παρουσιάστηκε η έκταση υβριδισμού των μοντέλων που εμφανίζονται, έτσι ώστε να αποδοθεί πιο ακριβής εικόνα για τις αντιλήψεις που διαμορφώνονται στην εκπαιδευτική διαδικασία, καθώς στην πλειοψηφία τους δεν αντιστοιχούσαν σε ένα μόνο μοντέλο. Η υβριδική χρήση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών, και συνεπώς, η αντίληψη για τη δομή και λειτουργία των γονιδίων των εκπαιδευτικών και των μαθητριών/τών εκατέρωθεν, αποτελούν κάποια εκ των κυριότερων αποτελεσμάτων που προέκυψαν και σχολιάζονται μέσα σε ένα ερμηνευτικό πλαίσιο στο παρακάτω κεφάλαιο.

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται συζήτηση επί των αποτελεσμάτων και προσεγγίσεις ερμηνείας τους. Πραγματοποιείται ανάλυση αποτελεσμάτων για τους τρεις βασικούς ερευνητικούς άξονες της διατριβής: α) τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά και τα ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στα οποία ανήκουν, στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα, β) ποια επιστημολογικά χαρακτηριστικά – μεταβλητές χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα και γ) ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα. Επίσης παρουσιάζεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα. Γίνεται εκτεταμένη αναφορά στις προεκτάσεις που μπορεί να έχει το φαινόμενο σε εκπαιδευτικούς τομείς όπως η διδασκαλία της γενετικής, η ενσωμάτωση σε αυτή σύγχρονων εννοιών της γενετικής, και η αντιμετώπιση των εναλλακτικών ιδεών. Τέλος, καταγράφονται οι περιορισμοί της έρευνας αλλά και οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτες που θα μπορούσαν να εμπλουτίσουν τη βιβλιογραφία με βάση τα ευρήματα αλλά και τα κενά που προσδιορίστηκαν από την παρούσα διατριβή. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων δίνεται σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα.

5.1 Αντιλήψεις για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στη διεθνή βιβλιογραφία

5.1.1 *Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύοντας τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα; (E.E. 1)*

Με βάση τα αποτελέσματα της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης των δημοσιευμένων εργασιών, φαίνεται να επικρατεί εννοιολογική ποικιλότητα στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών που συμμετείχαν στην έρευνα ως προς την έννοια του γονιδίου και την περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας. Οι αντιλήψεις των μαθητριών/τών αντιστοιχούν σε επιστημολογικά χαρακτηριστικά διαφορετικών ιστορικών μοντέλων για τη γονιδιακή λειτουργία, όπως αυτά αναπτύχθηκαν από τους Gericke και Hagberg (2007), δομώντας υβριδικά μοντέλα όταν αυτά συνδυαστούν. Με βάση τη συχνότητα των μεταβλητών για κάθε επιστημολογικό χαρακτηριστικό τα χαρακτηριστικά που συναρτούν το υβριδικό μοντέλο είναι

τα εξής: 1a και 1c&1e, 2Ia, 2IIa, 3b, 4b, 5Ia, 5IIa, 6bx, 7ax, έναν υβριδισμό κυρίως των χαρακτηριστικών του Μεντελικού και του νεοκλασικού μοντέλου.

Καθώς οι έρευνες που αναλύθηκαν διερευνούν τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε θέματα γενετικής, ενώ πολλές από αυτές επικεντρώνονται σε δυσκολίες που συναντούν οι μαθήτριες/τές στο αντικείμενο αυτό ή/και σε εναλλακτικές αντιλήψεις, δεν καθίστατο δυνατό να εντοπιστούν και τα εννιά επιστημολογικά χαρακτηριστικά σε κάθε μία από αυτές. Στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών σε 38 δημοσιευμένες εργασίες ανιχνεύτηκαν 109 διαφορετικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων για την περιγραφή της δομής και λειτουργίας του γονιδίου, τρεις ανά δημοσίευση κατά μέσο όρο. Η κατανομή των εννιά επιστημολογικών χαρακτηριστικών ήταν άνιση, ενώ τα πιο συχνά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν αφορούσαν τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1) και τη σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4). Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που περιγράφει τη σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2I) ακολουθεί σε συχνότητα, καθώς και αυτό που περιγράφει την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (3). Τρία επιστημολογικά χαρακτηριστικά εκπροσωπήθηκαν από τρεις μεταβλητές, όπως το δεύτερο επιστημολογικό χαρακτηριστικό που περιγράφει τη σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2II), αυτό που περιγράφει τις ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα (5I) και αυτό που αντιστοιχεί στη σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων (7). Τέλος, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά 5II (ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεων στα μοντέλα) και 6 (το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας) ανιχνεύθηκαν μόνο μία φορά.

Με βάση την κατανομή των επιστημολογικών χαρακτηριστικών στα ιστορικά μοντέλα, υπερίσχυσαν αυτά του Μεντελικού μοντέλου και ακολούθησαν το κλασικό, το βιοχημικό-κλασικό και το σύγχρονο, που έχουν αντίστοιχες θέσεις και στους υβριδισμούς που εμφανίζουν οι αντιλήψεις. Αν ληφθεί υπόψη, ωστόσο, η επικάλυψη των επιστημολογικών χαρακτηριστικών στα ιστορικά μοντέλα, τότε τα μοναδικά χαρακτηριστικά των μοντέλων δίνουν μια πιο καθαρή ένδειξη. Το σύγχρονο μοντέλο, για παράδειγμα, φαίνεται να εμφανίζεται μόνο μέσω πέντε επιστημολογικών χαρακτηριστικών που μοιράζεται με το νεοκλασικό μοντέλο. Ακόμα, η κατανομή των αποκλειστικών χαρακτηριστικών για κάθε ιστορικό μοντέλο ακολουθεί την κατανομή των συνολικών χαρακτηριστικών, ισχυροποιώντας έτσι την ενδεχόμενη επικράτηση του Μεντελικού μοντέλου στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών στη βιβλιογραφία.

Το Μεντελικό μοντέλο εκπροσωπείται στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών στις δημοσιεύσεις που αναλύθηκαν από τρία αποκλειστικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά και που αφορούν τη θεώρηση του γονιδίου ως αφηρημένη οντότητα, χωρίς δομή (1a) και συνεπώς και οι οντότητες που εμπλέκονται στη γονιδιακή λειτουργία είναι σε συμβολικό και μακρο-επίπεδο (2Ia). Ακόμα, η ταύτιση γονότυπου και φαινότυπου (4a) από μαθήτριες/τές αποτελεί μια Μεντελική θεώρηση που συναντάται αρκετά συχνά στη μαθητική κοινότητα, αν και δεν είναι η πιο συχνή στις έρευνες που αναλύθηκαν. Αν ληφθεί υπόψη πως από τις έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση, οι 12 συμπεριελάμβαναν στο δείγμα τους και μαθήτριες/τές γυμνασίου (6^η -9^η εκπαιδευτική βαθμίδα), των πρώτων τάξεων του λυκείου (10^η), όπου η εισαγωγή της Γενετικής γίνεται μέσω της δουλειάς του Mendel στα μπιζέλια (Johnston, 2023) και συνεπώς δεν εξετάζουν προχωρημένες έννοιες γενετικής, το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται. Πολύ λίγες μεταβλητές ανιχνεύθηκαν για τον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας από πάνω προς τα κάτω (3a) και από τις μεταβλητές 5Ia και 5IIa που είναι κοινές για τα τρία πρώτα ιστορικά μοντέλα και περιγράφουν τις ιδεαλιστικές και αιτιακές σχέσεις στο μοντέλο. Η μεταβλητή 7a που αφορά την απουσία περιβαλλοντικών στοιχείων στη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύθηκε μόνο μία φορά.

Το κλασικό μοντέλο αντιπροσωπεύεται από την αποκλειστική μεταβλητή που αποτέλεσε και την πιο συχνή στο δείγμα που αναλύθηκε, και περιγράφει διαχωρισμό του γονότυπου και του φαινότυπου, αλλά χωρίς την παροχή επεξήγησης (4b). Οι μαθήτριες/τές τις περισσότερες φορές δηλαδή εξηγούσαν την επίδραση με κάποιον τρόπο του γονότυπου στον φαινότυπο, παραλείποντας ωστόσο τις πρωτεΐνες ως διαμεσολαβητές. Το ίδιο βρήκαν και οι Venville και Treagust (2002), όταν παρατήρησαν τη διδασκαλία σε οκτώ τάξεις γυμνασίου (8, 10 και 12 ετών) και διαπίστωσαν ότι δυσκολεύονταν να συνδέσουν τα διάφορα μέρη της γενετικής για να αποκτήσουν μια ευρύτερη κατανόηση λόγω της αποσυνδεδεμένης διδασκαλίας των διαφόρων πτυχών της γενετικής. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, στην έρευνά τους, οι μαθήτριες/τές να έχουν γνώσεις για τη σύνθεση πρωτεϊνών αλλά να μην μπορούν να συνδέσουν τα γονίδια με τις πρωτεΐνες, καθώς έδειξαν επίσης αδυναμία να δώσουν μηχανιστικές εξηγήσεις για τη σχέση μεταξύ των εννοιών γονίδιο και χαρακτηριστικό. Ακόμα ένα από τα κοινά επιστημολογικά χαρακτηριστικά με το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο που ανιχνεύθηκαν, ήταν η σωματιδιακή θεώρηση του γονιδίου που βρίσκεται πάνω στο χρωμόσωμα (1b). Η παράλειψη των πρωτεϊνών στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας αποτελεί φαινόμενο καταγεγραμμένο στη βιβλιογραφία, καθώς πολλές/οί μαθήτριες/τές δυσκολεύονται να σκεφτούν σε επίπεδο συστημάτων, ιδίως στο πλαίσιο της μοριακής βιολογίας. Αυτή η ευθεία γραμμή από τον γονότυπο στον φαινότυπο, που σπάνια υπάρχει στην πραγματικότητα, τείνει

να διαφεύγει από τις/τους αρχάριες/ους μαθήτριες/τές (Newman et al., 2021). Έχει παρατηρηθεί και από τους Duncan και Reiser (2001) ότι όταν οι μαθήτριες/τές αναφέρουν τη σωματιδιακή υπόσταση του γονιδίου, δηλαδή τη δομή του, και όχι τη λειτουργία του ως αλληλουχία πληροφοριών που κωδικοποιεί πρωτεΐνες, μπορεί να οφείλεται εν μέρει στη διδασκαλία και στην επικέντρωση αυτής στη δομή του DNA και όχι στη λειτουργία του.

Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο αντιπροσωπεύεται στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, από τα κοινά χαρακτηριστικά με το κλασικό (1b, 2Ib, 3a, 5Ia, 5IIa) και υπήρξαν και περιπτώσεις όπου η αποκλειστική μεταβλητή που κυρίως διαφοροποιεί το μοντέλο από το κλασικό (4c) εντοπίστηκε. Η συμπερίληψη των πρωτεϊνών ως ενδιάμεσο προϊόν μεταξύ γονότυπου και φαινότυπου ανιχνεύθηκε κατά πλειοψηφία σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε φοιτήτριες/τές προπτυχιακού επιπέδου, που συνάδει με το γνωστικό υπόβαθρο τους σε σχέση με αυτό των μικρότερων τάξεων.

Η Μεντελική και η κλασική (σύμφωνα με τους ορισμούς των Gericke & Hagberg, 2007) θεώρηση του γονιδίου της οποίας έννοιες φαίνεται να κυριαρχούν στις αντιλήψεις εκπαιδευόμενων της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αποτελεί βασικό κομμάτι στη διδασκαλία της κληρονομικότητας (Kampourakis, 2021). Έχει συνδεθεί αρκετές φορές με την ύπαρξη γενετικού ντετερμινισμού (Jamieson & Radick, 2017), την πεποίθηση πως τα γονίδια είναι τα μόνα υπεύθυνα για την επιρροή βιολογικών και συμπεριφορών χαρακτηριστικών (Stern et al., 2020) ή της ουσιοκρατίας, που είναι η διαίσθηση ότι οι οργανισμοί έχουν σταθερή ουσία (Stern et al., 2023). Ο Gericke και οι συνεργάτες του (2017) αναγνώρισαν ότι ο γενετικός ντετερμινισμός αποτελεί τόσο ένα «εκπαιδευτικό πρόβλημα», καθώς έρχεται σε αντίθεση με την επιστημονική γνώση και την τρέχουσα έρευνα στις αναπτυξιακές διαδικασίες και την επιγενετική, όσο και ένα «κοινωνικό πρόβλημα», εμφανές τις τελευταίες δεκαετίες. Για αυτό το λόγο έχει αρχίσει να αμφισβητείται η χρησιμότητα της ενσωμάτωσης της διδασκαλίας της Μεντελικής γενετικής από μερικούς ερευνητές (Barty, 2022· Kampourakis, 2021· Radick, 2023· Schmid et al., 2022· Stern et al., 2023).

Το νεοκλασικό μοντέλο, πέρα από τα κοινά του επιστημολογικά χαρακτηριστικά με το βιοχημικό-κλασικό και τα υπόλοιπα προηγούμενα ιστορικά μοντέλα (3b, 5IIa) αντιπροσωπεύθηκε στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών από δύο αποκλειστικές μεταβλητές που περιγράφουν τη δομή του γονιδίου ως ένα τμήμα DNA (1c) και ως φορέα ή/και μονάδα πληροφορίας (1e) και που προστιθέμενα ξεπερνούν τις περιπτώσεις του 1a του Μεντελικού μοντέλου. Παρά τη χρήση της μοριακής υλικής σύστασης των γονιδίων από τις μαθήτριες/τές, η αφήγηση του μοντέλου της γονιδιακής λειτουργίας σε μοριακό επίπεδο δεν είναι τόσο συχνή, που ίσως είναι απόρροια της καταγεγραμμένης δυσκολίας των εκπαιδευόμενων να

κατανοήσουν τις διαδικασίες των γενετικών φαινομένων που ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα (μακρο-, μικρο- και μοριακό επίπεδο) ενός βιολογικού οργανισμού (Bahar et al., 1999· Duncan & Reiser, 2007· Marbach-Ad & Stavy, 2000). Ο καθορισμός της γονιδιακής λειτουργίας από κάτω προς τα πάνω (3b) εμφανίζεται να χαρακτηρίσει τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, προσέγγιση που βρήκαν και στα διδακτικά εγχειρίδια οι Gericke και Hagberg (2010b). Ο διαχωρισμός του γονότυπου και του φαινοτύπου με εξήγηση μέσω βιοχημικών διαδικασιών (4d) ανιχνεύθηκε μόνο σε μία έρευνα, χαρακτηριστικό κοινό και με το σύγχρονο μοντέλο, ενώ σε δύο περιπτώσεις η εξήγηση της γονιδιακής λειτουργίας συμπεριλάμβανε όλες τις οντότητες του μοντέλου στο μοριακό επίπεδο (2Ic), επίσης κοινό χαρακτηριστικό με το σύγχρονο μοντέλο. Σε μία έρευνα ανιχνεύθηκαν και οι σχέσεις στο μοντέλο με βιοχημικές αντιδράσεις (5Ib) που αποτελεί χαρακτηριστικό του νεοκλασικού και του σύγχρονου. Τέλος, η αντιστοιχία ένα-προς-ένα μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας (2IIa) που χαρακτηρίζει το Μεντελικό, το νεοκλασικό και εμφανίζεται και στο βιοχημικό-κλασικό (σε συνδυασμό με τη σχέση πολλά-προς-πολλά – 2IIb), βρέθηκε σε περισσότερες περιπτώσεις από τη σχέση πολλά-προς-πολλά (2IIb) του κλασικού/βιοχημικού-κλασικού και σύγχρονου. Όπως αναφέρει και η Barty (2022) η πεποίθηση ότι υπάρχει ένα γονίδιο «για» τα χαρακτηριστικά, προέρχεται από τη γενετική ντετερμινιστική προσέγγιση ότι: «τα γονίδια καθορίζουν αποκλειστικά τα φυσικά χαρακτηριστικά ή τις συμπεριφορές και όχι σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες» (Smith & Gericke, 2015), που απορρέει από τον υπερτονισμό του κυρίαρχου-υπολειπόμενου μοτίβου στο πλαίσιο της διδασκαλίας της κληρονομικότητας κατά Mendel.

Το σύγχρονο μοντέλο αντιπροσωπεύεται μόνο από τα κοινά επιστημολογικά χαρακτηριστικά με το νεοκλασικό (2Ic, 4d, 5Ib) και το κλασικό και βιοχημικό-κλασικό (2IIb) μοντέλο.

Όσον αφορά τα μη ιστορικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν, αφορούν λίγες περιπτώσεις ανά κατηγορία (1-2). Οι δύο μεταβλητές που ανιχνεύθηκαν να περιγράφουν τις οντότητες των μοντέλων, μεταξύ του μακρο- κυτταρικού και μοριακού επιπέδου (2Ibx) και μεταξύ του φαινοτυπικού και μοριακού επιπέδου (2Icy) ίσως υποδεικνύουν τη δυσκολία των μαθητριών/τών να δώσουν εξηγήσεις και να συνδέσουν διαφορετικά οργανωτικά επίπεδα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Επαγωγική ερμηνεία ανάμεσα σε οργανωτικά επίπεδα ανιχνεύθηκε μόνο από το μακρο- στο μοριακό επίπεδο, που μπορεί να συνδεθεί με την αντίληψη της από πάνω προς τα κάτω γονιδιακή λειτουργία (3a) και με την εναλλακτική αντίληψη πως τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες για υψηλότερα επίπεδα οργάνωσης (Stern et al., 2023· Stern & Kampourakis, 2017).

Η χρήση υβριδικών μοντέλων στην εκπαίδευση μπορεί να αποτελέσει μαθησιακό εμπόδιο για τις/τους μαθήτριες/τές (Justi & Gilbert, 1999), αλλά η χρήση υβριδικών επεξηγηματικών μοντέλων που ενσωματώνουν μη-Μεντελικές έννοιες κατά τη διδασκαλία της Μεντελικής γενετικής μπορεί να ευνοήσει μαθησιακές δυσκολίες λόγω εννοιολογικής ασυνέπειας (Gericke et al., 2014· Thörne et al., 2013).

5.1.2 Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύοντας τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη διεθνή ερευνητική δραστηριότητα; (E.E. 2)

Με βάση τα αποτελέσματα της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης των δημοσιευμένων εργασιών, φαίνεται ότι επικρατεί εννοιολογική ποικιλότητα στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών ως προς την έννοια του γονιδίου και την περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας. Οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών φαίνεται να αντιστοιχούν σε επιστημολογικά χαρακτηριστικά διαφορετικών ιστορικών μοντέλων για τη γονιδιακή λειτουργία, όπως αυτά αναπτύχθηκαν από τους Gericke και Hagberg (2007), δομώντας υβριδικά μοντέλα όταν αυτά συνδυαστούν. Με βάση τη συχνότητα των μεταβλητών για κάθε επιστημολογικό χαρακτηριστικό τα χαρακτηριστικά που συναρτούν το υβριδικό μοντέλο είναι τα εξής: 1a & 1b & 1c/1e, 2Ic, 2IIa, 3b, 4b, 5Ib, 5IIa, 7a & 7ax, έναν υβριδισμό χαρακτηριστικών κυρίως του κλασικού και του βιοχημικού-κλασικού μοντέλου.

Τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν στις 11 έρευνες για τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών (N = 28) έτσι ώστε να αντιστοιχηθούν στα ιστορικά μοντέλα, ωστόσο, ήταν το ένα τέταρτο σχεδόν από αυτά που ανιχνεύθηκαν για τις/τους μαθήτριες/τές (N = 109), ενώ κατά μέσο όρο εντοπίστηκαν 2,5 μεταβλητές ανά έρευνα. Η χρήση του όρου «μοντέλα» κατ' επέκταση γίνεται με κάθε επιφύλαξη, και ο χαρακτηρισμός των αντιλήψεων πραγματοποιείται κυρίως βάσει των χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν στα υβριδικά μοντέλα.

Η κατανομή των εννιά επιστημολογικών χαρακτηριστικών ήταν άνιση, ενώ τα πιο συχνά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που ανιχνεύθηκαν αφορούσαν τη σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου (1) και τη σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου (4). Το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που περιγράφει την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας (3) ακολουθεί σε συχνότητα και ακολουθεί αυτό που περιγράφει τη σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας (2II). Τα υπόλοιπα (2I, 5I, 5IIa, 7) συναντώνται σε μικρές συχνότητες, ενώ αυτό που περιγράφει το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας (6) απουσιάζει.

Το Μεντελικό μοντέλο είναι αυτό που εμφανίζεται στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών με τα περισσότερα αποκλειστικά του επιστημολογικά χαρακτηριστικά, ενώ το νεοκλασικό αντιπροσωπεύεται από τις περισσότερες συνολικές μεταβλητές. Εμφανίζεται η έννοια του γονιδίου ως αφηρημένη οντότητα (1a), ένα Μεντελικό χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται συχνά από εκπαιδευτικούς, και δεν είναι προβληματικό κατά τους dos Santos κ.ά. (2012), εφόσον η/ο εκπαιδευτικός δηλώνει σαφώς και ρητά ότι το γονίδιο χρησιμοποιείται ως αφηρημένη οντότητα και όχι ως φυσική οντότητα. Μάλιστα, υποστηρίζεται από τους ίδιους πως καθιστά χρήσιμο εργαλείο για την πρόβλεψη μοτίβων κληρονομικότητας, ενώ μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη διδασκαλία όταν οι εκπαιδευτικοί αναμειγνύουν μια τέτοια εργαλειακή θεώρηση του γονιδίου με μια θεώρηση του γονιδίου ως φυσικής οντότητας. Ακόμα, ο μη διαχωρισμός γονότυπου και φαινότυπου (4a) ως ιδέα που συμπληρώνει το Μεντελικό μοντέλο και προάγει γενετικές ντετερμινιστικές θεωρήσεις.

Όπως και στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών ο διαχωρισμός του γονότυπου και του φαινότυπου, χωρίς εξήγηση (4b), χαρακτηριστικό του κλασικού μοντέλου είναι το πιο συχνό από τα άλλα της ίδιας κατηγορίας στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών. Η ελλιπής διδασκαλία των πρωτεϊνών ως ενδιάμεσο προϊόν μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου είναι ευρέως καταγεγραμμένη στη βιβλιογραφία (Duncan et al., 2009· Duncan & Reiser, 2007· Newman et al., 2021) και το εύρημα αυτό ενισχύει αυτή την προβληματική. Έχει επίσης τονιστεί η σημασία της συμπερίληψης πληροφοριών σχετικά με τις πρωτεΐνες κατά τη διδασκαλία της γενετικής, ιδίως ως μέσο σύνδεσης των εννοιών του γονιδίου και του χαρακτηριστικού (Thörne & Gericke, 2014).

Η νεοκλασική θεώρηση της δομής του γονιδίου ως τμήμα DNA (1c) ή/και ως μονάδα πληροφορίας (1e) ισοβαθεί με τη Μεντελική και κλασική θεώρηση στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών. Η σχέση επίσης ένα-προς-ένα γονιδίου και χαρακτηριστικού (2IIa) υπερτερεί της πολλά-προς-πολλά (2IIb), σχέση συνυφασμένη με τη χαρακτηριστική φράση «γονίδια για έναν ρόλο» που χρησιμοποιείται στη διδασκαλία και εντοπίζεται και σε μαθήτριες/τές και προάγει το γενετικό ντετερμινισμό (Stern et al., 2023). Από μία αναφορά για το χαρακτηριστικό του βιοχημικού-κλασικού μοντέλου που αναφέρεται σε ένζυμα και πρωτεΐνες ως διαμεσολαβητές γονοτύπου και φαινοτύπου (4c) και μία για την εξήγηση της σχέσης αυτών μέσω βιοχημικών διαδικασιών (4d), που αποτελούν πιο σύγχρονες αντιλήψεις, δείχνουν πως οι εκπαιδευτικοί συχνά μιλούν για σχέσεις και όρους στη γενετική με διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, σε έρευνα των Thörne και Gericke (2014) εκπαιδευτικοί στη Σουηδία με παρόμοιο εκπαιδευτικό υπόβαθρο, χρησιμοποιώντας τα ίδια βιβλία και σχεδιάζοντας από κοινού τις διδασκαλίες τους, μιλούσαν για τις πρωτεΐνες και τις συμπεριέλαβαν στη

διδασκαλία τους με διαφορετικούς τρόπους. Για αυτό το λόγο επισημαίνουν την ιδιαίτερη προσοχή που πρέπει να δίνεται στην επιστημονική γλώσσα που χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση. Τέλος, σύγχρονες έννοιες της γενετικής, όπως περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη γονιδιακή λειτουργία απουσιάζουν από όλες τις έρευνες εκτός από μία στην οποία εντοπίζεται χαρακτηριστικό που δεν ανήκει σε ιστορικό μοντέλο.

Φαίνεται πως ο τρόπος με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί μιλούν ενσωματώνει στοιχεία από διάφορα ιστορικά μοντέλα που ορίζουν οι Gericke και Hagberg (2007), και αυτός ο υβριδισμός διαφορετικών μοντέλων έχει τον κίνδυνο να υλοποιηθεί μέσω μπερδεμένης γλώσσας (Thörne et al., 2013)

Γενικά Συμπεράσματα σχετικά με τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη λειτουργία του στη διεθνή βιβλιογραφία

Η ποιοτική συστηματική ανασκόπηση ερευνών της διεθνούς βιβλιογραφίας για διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών για το γονίδιο και τη λειτουργία του υποδεικνύει την υβριδική χρήση εννοιών για την περιγραφή τους. Ενώ η έρευνα γύρω από τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών είναι περιορισμένη, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων (Gericke & Hagberg, 2007) που ανιχνεύθηκαν και δομούν τα υβριδικά αυτά μοντέλα είναι κοινά ως επί το πλείστο στις δύο ομάδες, μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών. Συνυπάρχει η ιδέα του γονιδίου ως αφηρημένη οντότητα (Μεντελικό μοντέλο) και αυτή ως φορέα πληροφορίας ή/και τμήματος DNA (νεοκλασικό μοντέλο), ενώ η σχέση του γονιδίου με τη λειτουργία του είναι ένα-προς-ένα. Ακόμα, και οι δυο ομάδες φαίνεται να εκφράζουν την επιρροή των γονιδίων στα χαρακτηριστικά των οργανισμών (από κάτω προς τα πάνω) μία νεοκλασική έννοια, χωρίς όμως να αναφέρονται σε πρωτεΐνες ως ενδιάμεσο προϊόν που παραπέμπει στο κλασικό μοντέλο. Οι σχέσεις που περιγράφονταν στο μοντέλο εξήγησής τους ήταν κυρίως αιτιακές και χωρίς να υπάρχει βιοχημική εξήγηση, κάτι που χαρακτηρίζει όλα τα ιστορικά μοντέλα εκτός του σύγχρονου. Σύγχρονες έννοιες όπως η περιβαλλοντική επιρροή στη γονιδιακή λειτουργία δεν ανιχνεύθηκαν σε καμία από τις δύο ομάδες, παρά μόνο ως συμπληρωματικής της γονιδιακής επιρροής στη γονιδιακή λειτουργία.

Παρά την πορεία της έρευνας στην διδακτική της γενετικής που επικεντρώνεται στη σημασία της ένταξης σύγχρονων εννοιών στη διδασκαλία (Gericke & Mc Ewen, 2023· Haskel-Ittah, Duncan, & Yarden, 2020· Haskel-Ittah & Duncan, 2021· Schmid et al., 2022), φαίνεται πως πέρα από τις/τους μαθήτριες/τές και οι εκπαιδευτικοί δεν τις χρησιμοποιούν. Καθώς η δυνητικά πιο σημαντική πτυχή του γενετικού γραμματισμού λογίζεται ως η ιδέα ότι «πολλαπλά

γονίδια και πολλαπλοί περιβαλλοντικοί παράγοντες αλληλεπιδρούν στην ανάπτυξη των περισσότερων χαρακτηριστικών» (Boerwinkel et al., 2017), συνιστάται να έχει και κεντρική θέση στη διδασκαλία της γενετικής (Haskel-Ittah, 2020). Επιπλέον, ο σημαντικός ρόλος των πρωτεϊνών τονίζεται επίσης στην μαθησιακή εξέλιξη για τη σύγχρονη γενετική, από τις τελευταίες τάξεις του δημοτικού έως την αρχή του λυκείου, όπως παρουσιάζεται από τους Duncan et al. (2009), για αυτό η διδασκαλία των εκπαιδευτικών θα πρέπει να δίνει έμφαση στον κεντρικό ρόλο των πρωτεϊνών και στις μηχανιστικές εξηγήσεις σχετικά με το πώς οι πρωτεΐνες είναι υπεύθυνες για φαινόμενα σε ανώτερα οργανωτικά επίπεδα.

5.2 Αντιλήψεις για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία στην Ελλάδα

5.2.1 Ποια από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 3)

Από τα αποτελέσματα της κύριας μελέτης ως προς τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων (Gericke & Hagberg, 2007) στις αντιλήψεις μαθητριών/τών της Γ' Λυκείου, ανιχνευθήκαν συνολικά 1316 μεταβλητές και στις εννιά κατηγορίες των χαρακτηριστικών, ενώ 296 από αυτά (22%) δεν ανήκουν σε ιστορικά μοντέλα. Σύμφωνα με τη συχνότητα ανίχνευσής τους, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών είναι οι εξής: 1e, 2Icy, 2IIa, 3b, 4b, 5Ia, 5IIa, 6bx, 7a.

Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου περιγράφεται από τις/τους συμμετέχουσες/οντες συνήθως ως το γονίδιο να είναι φορέας ή/και μονάδα πληροφορίας (1e). Οι μαθήτριες/τές συχνά ανέφεραν και το DNA ως η υλική υπόσταση του γονιδίου (1e) που είναι η δεύτερη σε συχνότητα μεταβλητή, αλλά οι περισσότερες καταγραφές αφορούσαν το γονίδιο ως φέρον πληροφορία και οδηγίες για έναν φαινότυπο σε βιοχημικό ή φαινοτυπικό επίπεδο. Η θεώρηση αυτή του γονιδίου, συνάδει και με τα αποτελέσματα της συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, ενώ η απουσία της έννοιας της αφηρημένης οντότητας στην κύρια μελέτη, συνδέεται πιθανώς με την ηλικιακή διαφορά και το εξειδικευμένο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών της ομάδας προσανατολισμού στη Γ' Λυκείου στο Ελληνικό σχολείο, σε σχέση με τις/τους μαθήτριες/τές των μικρότερων ηλικιακών τάξεων που συμπεριλαμβάνονται στις έρευνες που αναλύθηκαν. Παρόμοια αντίληψη του γονιδίου εμφανίζεται σε φοιτήτριες/τές προπτυχιακού επιπέδου (LeVaughn, 2016· Newman et al., 2021· Sharp et al., 2023) και μαθήτριες/τές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις Η.Π.Α. (Duncan et al., 2011· Duncan & Reiser, 2007· Duncan & Tseng, 2011), ενώ αντιστοιχία υπάρχει και με μαθήτριες/τές

δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε Ισπανία (Banet & Ayuso, 2000) και Αυστραλία (Tsui & Treagust, 2010), καθώς και με πρότερη έρευνα στην Ελλάδα [Γιασεμής, 2011].

Οι μαθήτριες/τές περιλάμβαναν στις εξηγήσεις της γονιδιακής λειτουργίας οντότητες στο φαινοτυπικό επίπεδο και στο μοριακό επίπεδο (2Ic), καθώς συνδέαν τα γονίδια απευθείας με ένα φαινοτυπικό χαρακτηριστικό, όπως το χρώμα των ματιών, των μαλλιών ή την εμφάνιση κάποιας ασθένειας. Πιο σπάνια, κάταν αναφορές σε βιοχημικά χαρακτηριστικά, χωρίς όμως περαιτέρω εξήγηση. Αυτή η σχέση ένα-προς-ένα στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας (2IIa), αποτέλεσε την κύρια αφήγηση των μαθητριών/τών. Τα μονογονιδιακά χαρακτηριστικά είναι χαρακτηριστικό της Μεντελικής και νεοκλασικής γενετικής, που συνυπάρχει με τους πολυγονιδιακούς χαρακτήρες στο βιοχημικό-κλασικό μοντέλο. Η στόχευση της εκπαίδευσης στη γενετική σε τέτοιους χαρακτήρες έχει στο παρελθόν επικριθεί για το γεγονός ότι οδηγεί τις/τους μαθήτριες/τές να αναπτύξουν ένα μοντέλο κληρονομικότητας στο οποίο τα περισσότερα χαρακτηριστικά είναι μονογονιδιακά, (Jamieson & Radick, 2017· Lawson & Thompson, 1988· Shaw et al., 2008· Venville et al., 2005), χωρίς μοριακό μηχανισμό για τον διαχωρισμό γονιδίου και χαρακτηριστικού (Duncan et al., 2009) και χωρίς περιγραφή του τρόπου με τον οποίο αυτή η σχέση ρυθμίζεται περιβαλλοντικά (Jamieson & Radick, 2017), που αποτελεί εναλλακτική αντίληψη η οποία συχνά ενισχύεται και από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης (Mills Shaw et al., 2008). Ακόμα, οι Aivelo και Uitto (2020) τονίζουν ότι ο γενετικός ντετερμινισμός συνήθως εκδηλώνεται μέσω της πεποίθησης της ένα-προς-ένα σχέσης των γονιδίων στα χαρακτηριστικά.

Ο μηχανισμός για τον διαχωρισμό γονιδίου-χαρακτηριστικού δεν επικρατούσε και στις αντιλήψεις των συμμετεχουσών/όντων στην κύρια μελέτη, καθώς στις εξηγήσεις τους, τις περισσότερες φορές δεν αναφέρονταν στα ενδιάμεσα επίπεδα μεταξύ γονιδίων και φαινοτύπων (π.χ. πρωτεΐνες, κύτταρα, ιστοί, όργανα) κάτι που φαίνεται να είναι σχετικά διαδεδομένο μεταξύ των μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (π.χ. Duncan & Reiser, 2007). Αυτός ο καθορισμός χαρακτηριστικών από τα γονίδια (3b) σε συνδυασμό με την παράλειψη των πρωτεϊνών ως διαμεσολαβητή (4b) αποτελεί και βασικό στοιχείο του γενετικού ντετερμινισμού (Stern et al., 2021) που έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί κρίσιμο εμπόδιο για τη σωστή κατανόηση της κληρονομικότητας και των συνεπειών της στην κοινωνία (Jiménez-Aleixandre, 2014). Ακόμα, οι εκπαιδευόμενες/οι που έχουν ιδέες γενετικού ντετερμινισμού μπορεί να αποδώσουν ακατάλληλα την ικανότητα ενός γονιδίου να οδηγεί αυτόματα σε ένα φαινότυπο χωρίς ενδιάμεσες ή δευτερεύουσες διαδικασίες (Newman et al., 2021). Ο Gericke περιέγραψε αυτή την ιδέα, «σαν το χαρακτηριστικό να περιέχεται ήδη στο γονίδιο» (Gericke et al., 2017). Η απουσία των πρωτεϊνών στην εξήγηση της γονιδιακής λειτουργίας, δεν

σημαίνει απαραίτητα πως οι μαθήτριες/τές δεν κατέχουν τη γνώση αυτή, καθώς ανιχνεύτηκε και το επιστημολογικό χαρακτηριστικό που αντιστοιχεί σε αυτή τη θεώρηση (4c). Παρ' όλα αυτά, αποτελεί φαινόμενο καταγεγραμμένο στις αντιλήψεις αρχάριων μαθητριών/τών που δυσκολεύονται να σκεφτούν σε επίπεδο συστημάτων, ιδίως στο πλαίσιο της μοριακής βιολογίας (Newman et al., 2021). Αυτό είναι σύμφωνο με μελέτες που υποδεικνύουν ότι οι μαθήτριες/τές έχουν διακριτές ομάδες εννοιών για την περιγραφή των επιδράσεων των γονιδίων στα χαρακτηριστικά και για την περιγραφή του μηχανισμού που διέπει αυτές τις επιδράσεις (Gericke et al., 2013· Gericke & Wahlberg, 2013). Αυτό σημαίνει ότι παρόλο που οι μαθήτριες/τές κατανοούν τις έννοιες και ορισμένες από τις σχέσεις τους, δεν μπορούν να τις συνδέσουν σε μια συνεκτική ιδέα (Haskel-Ittah & Yarden, 2017). Αυτό ενισχύεται και από το εύρημα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών 5Ia και 5IIa στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών που περιγράφουν τις ιδεαλιστικές σχέσεις και τις αιτιακές και μηχανιστικές αντίστοιχα. οι εξηγήσεις τους. Αυτή η κατανομή αντιστοιχεί στις απόψεις των μαθητών, οι οποίες αναφέρεται ότι ευνοούν τις ιδεαλιστικές εξηγήσεις έναντι των βιοχημικών διεργασιών (Lewis et al., 2000b· Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000· Marbach-Ad, 2001). Η προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω» (3b), κατά την οποία ο ορισμός της γονιδιακής λειτουργίας ξεκινά από το γονίδιο που επικράτησε στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών αποτελεί και το πιο συχνό στη βιβλιογραφία (Gericke & Hagberg, 2010b).

Όσον αφορά το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας της γονιδιακής λειτουργίας, οι εξηγήσεις των συμμετεχουσών/όντων εμφάνισαν επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- στο μοριακό επίπεδο (6bx), μεταβλητή που δεν ανήκει σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα. Αποτελεί μάλιστα, και εναλλακτική αντίληψη ότι «τα γονίδια περιέχουν πληροφορίες για υψηλότερα επίπεδα οργάνωσης» (Stern et al., 2023· Stern & Kampourakis, 2017), ενώ διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι οι μαθήτριες/τές δυσκολεύονται να συσχετίσουν τις δομές και τις έννοιες με το σωστό οργανωτικό επίπεδο (Knippels, 2002· Lewis et al., 2000b).

Τέλος, στις εξηγήσεις των μαθητριών/τών δεν συμπεριλαμβάνονταν συνήθως περιβαλλοντικά στοιχεία (7a) στην περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας. Συχνά η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης παρουσιάζεται συχνά στην εκπαίδευση της γενετικής ως παράδειγμα για το πώς το περιβάλλον επηρεάζει τα γενετικά χαρακτηριστικά, χωρίς να δίνεται έμφαση στους μηχανισμούς ανίχνευσης και σηματοδότησης που μεσολαβούν μεταξύ των δύο (Boerwinkel et al., 2017· Duncan et al., 2009). Όπως υποδηλώνουν τα αποτελέσματά της έρευνας των Haskel-Ittah και των συνεργατών της (2020), αυτή η σύνδεση δεν είναι προφανής ή εμφανής στις/στους μαθήτριες/τές και το γεγονός ότι τα γονίδια μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν δεν συνεπάγεται αυτόματα (για τις/τους μαθήτριες/τές) ότι αυτή η

εναλλαγή είναι ένα «σκόπιμο» μέσο αντίδρασης. Οι Lewis και Kattmann (2004) έχουν αναφερθεί στο ζήτημα ότι «οι μαθήτριες/τές έχουν ανάγκη να διδάσκονται ρητά ότι τα γονίδια ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες», ενώ αργότερα οι Haskel-Ittah και Yarden (2021) εξηγούν πως «αν στόχος μας είναι να προωθήσουμε την ικανότητα των μαθητριών/τών να σκέφτονται μηχανιστικά στη γενετική και να κατανοούν τη δυναμική της φύση, πρέπει να κατανοήσουμε ποιους γνωστικούς πόρους χρειάζονται για να είναι σε θέση να παρέχουν μηχανιστικές εξηγήσεις για δυναμικά γενετικά φαινόμενα.» Με τον όρο «δυναμικά γενετικά φαινόμενα» αναφέρονται σε διάφορα φαινόμενα στα οποία το περιβάλλον γίνεται αντιληπτό από μηχανισμούς που βασίζονται στη γενετική και κατά συνέπεια ενεργοποιεί ανταποκρινόμενους μηχανισμούς που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά. Τα φαινόμενα αυτά ονομάζονται «φαινοτυπική πλαστικότητα» επειδή το παρατηρούμενο γνώρισμα (φαινότυπος) είναι ευέλικτο και μπορεί να αλλάξει ως απάντηση στο περιβάλλον.

5.2.2 Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 5)

Αντιστοιχίζοντας τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά στα ιστορικά μοντέλα (Gericke & Hagberg. 2007) βρέθηκε πως το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο κυριάρχησε στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της Γ' Λυκείου, με την πλειοψηφία των πληροφορητριών/τών να εμφανίζει μεγάλα ποσοστά υβριδισμού (44-55%). Το νεοκλασικό μοντέλο εμφανίστηκε στις αντιλήψεις πέντε μαθητριών/τών, με επίπεδο υβριδισμού 50% και 55%, ενώ το Μεντελικό σε μία μαθήτρια με επίπεδο υβριδισμού 44%. Κατά μέσο όρο από τα αποτελέσματα του συνόλου των μαθητριών/τών, το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο χρησιμοποιούνταν υβριδισμένο κατά 43% (μαθήτριες/τές 1-11 και 13-18), το νεοκλασικό (μαθήτριες/τές 1, 2, 12, 13, 16) κατά 52%, ενώ το Μεντελικό στη μαθήτρια 14 που ισοβάθμησε με το βιοχημικό-κλασικό κατά 44% από τα χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε ιστορικά μοντέλα και από αυτά που δεν ανήκουν στο κυρίαρχο με βάση τη συχνότητα των χαρακτηριστικών του. Η παρουσία του σύγχρονου μοντέλου ήταν μικρή.

Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο περιγράφει την κλασική σωματιδιακή υπόσταση του γονιδίου που έχει θέση πάνω στα χρωμοσώματα (1b), το διαχωρισμό γονοτύπου και φαινοτύπου με ένα ένζυμο ως διαμεσολαβητή (4c), υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- στο κυτταρικό επίπεδο (6b), ενώ όλες οι οντότητες στο μοντέλο είναι στο μακρο- και στο κυτταρικό επίπεδο (2Ib), και οι σχέσεις στο μοντέλο είναι ιδεαλιστικές (5Ia) και αιτιακές

(5IIa). Ως προς τα οργανωτικά επίπεδα στα οποία καθορίζεται η γονιδιακή λειτουργία (2IIa & 2IIb) και ως προς την «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της (3a & 3b) περιέχει ασυμβατότητες, με αποτέλεσμα να διατηρεί ορισμένα χαρακτηριστικά του κλασικού μοντέλου ενώ παράλληλα υιοθετεί και κάποια του νεοκλασικού (Gericke & Hagberg 2007). Αυτές οι ασυμβατότητες είναι που καθιστούν και το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο πιο συχνό στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών, καθώς κρίνοντας από τα μοναδικά επιστημολογικά χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν για κάθε ένα από τα μοντέλα, τα περισσότερα ανήκουν στο κλασικό και στο νεοκλασικό. Μια βασική διαφορά του νεοκλασικού μοντέλου από το κλασικό και το βιοχημικό-κλασικό έγκειται στην υλική υπόσταση του γονιδίου αφού χαρακτηρίζεται ως τμήμα DNA (1c), ως φέρον πληροφορία (1e) ή πως σχετίζονται οι λειτουργίες του με το DNA (1cx). Επομένως, από τη στιγμή που το γονίδιο ορίζεται σε μοριακό επίπεδο, οι οντότητες του μοντέλου βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (2Ic) και συνεπώς δεν υπάρχει επαγωγική ερμηνεία (6c). Σε αυτό το επίπεδο περιγράφονται και οι βιοχημικές σχέσεις με νατουραλιστικό τρόπο (5Ib) στο νεοκλασικό μοντέλο, που διαφοροποιείται από τα δύο προηγούμενα ιστορικά μοντέλα, και δίνεται η δυνατότητα έτσι να περιγραφεί και η σχέση γονότυπου και φαινότυπου (4d). Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο έχει βρεθεί ότι είναι και το κυρίαρχο στα διδακτικά εγχειρίδια βιολογίας που χρησιμοποιούνται στη Γ' Λυκείου (Christidou & Papadopoulou, 2020).

Ο υβριδισμός του βιοχημικού-κλασικού μοντέλου (43%) στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών της κύριας μελέτης πραγματοποιείται με το νεοκλασικό μοντέλο ως προς τη σχέση δομής γονιδίου και λειτουργίας, καθώς οι μαθήτριες αναφέρονται συχνά στο γονίδιο ως τμήμα DNA, μοριακός προσδιορισμός της έννοιας «γονίδιο» που εμφανίζεται συχνά και στα σχολικά διδακτικά εγχειρίδια που χρησιμοποιούνται στη Γ' Λυκείου (Christidou & Papadopoulou, 2020· Αμπατζίδης & Καμπουράκης, 2022). Η αντιστοίχιση του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας ένα-προς-ένα ανήκει στο νεοκλασικό μοντέλο, αλλά συνυπάρχει με την προσέγγιση του πολλά-προς-πολλά στο βιοχημικό-κλασικό ως μέρος της ασυμβατότητας που προαναφέρθηκε. Τέλος, στον υβριδισμό του βιοχημικού-κλασικού από το νεοκλασικό συμβάλλει και το ότι οι σχέσεις στο μοντέλο είναι αιτιακές και μηχανιστικές. Ακόμα, ο καθορισμός της γονιδιακής λειτουργίας από κάτω προς τα πάνω, είναι άλλο ένα από τα σημεία ασυνέπειας του βιοχημικού-κλασικού μοντέλου, που είναι χαρακτηριστικό του νεοκλασικού. Όπως φάνηκε και από τη συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, αυτή η τριάδα επιστημολογικών χαρακτηριστικών (1c, 2IIa & 3b) συναντάται και στις αντιλήψεις μαθητριών/τών άλλων χωρών, αλλά και στα σχολικά εγχειρίδια στην Ελλάδα (Christidou & Papadopoulou, 2020), αλλά και σε εγχειρίδια της Βραζιλίας, Σουηδίας και αγγλόφωνων χωρών

(Αυστραλία, Καναδάς, Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής) όπου επικρατεί το νεοκλασικό μοντέλο (Gericke et al., 2014) ή υβριδικά μεταξύ του νεοκλασικού και του Μεντελικού (Gericke & Hagberg, 2010a, 2010b). Τρεις μαθήτριες/τές (M01, M02, M04) χρησιμοποίησαν εξίσου ιδεαλιστική και νατουραλιστική περιγραφή της γονιδιακής λειτουργίας που ανήκει στα πιο σύγχρονα στοιχεία των μοντέλων (νεοκλασικό και σύγχρονο) και έτσι ισοβάθμισαν και τα δυο μοντέλα στις/στους δύο από αυτές/ούς.

Τα χαρακτηριστικά του κλασικού μοντέλου που συμβάλλουν στον υβριδισμό του βιοχημικού-κλασικού μοντέλου που ανιχνεύεται στην πλειοψηφία των αντιλήψεων των μαθητριών/τών είναι η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινοτύπου χωρίς επεξήγηση. Παρά την ύπαρξη μονάδων ανάλυσης στις οποίες αναφέρονται οι πρωτεΐνες ως διαμεσολαβητές γονιδίων-χαρακτηριστικών, επικρατεί στο λόγο των μαθητριών/τών η σύνδεσή τους χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα ενδιάμεσα επίπεδα (π.χ. πρωτεΐνες, κύτταρα). Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως και στα σχολικά εγχειρίδια παρουσιάζεται η σχέση γονότυπου και φαινότυπου, κατά πλειοψηφία χωρίς μοριακή εξήγηση (Christidou & Papadopoulou, 2020). Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι οι μαθήτριες/τές τείνουν κυρίως να σκέφτονται τα γονίδια ως καθοριστικά των χαρακτηριστικών ή ως πληροφοριακά στοιχεία, αλλά σπάνια ως κωδικοποιητές των πρωτεϊνών (Lewis et al. 2000a, Wood-Robinson et al. 2000). Η ιδεαλιστική περιγραφή της λειτουργίας των γονιδίων που επικράτησε στις εξηγήσεις των μαθητριών/τών ανήκει στα τρία πρώτα ιστορικά μοντέλα και άρα μοιράζεται και μεταξύ κλασικού και βιοχημικού-κλασικού. Η προτίμηση των ιδεαλιστικών σχέσεων φαίνεται να υπάρχει και στη βιβλιογραφία όπου αναφέρεται ότι οι μαθήτριες/τές ότι ευνοούν τις ιδεαλιστικές εξηγήσεις έναντι των βιοχημικών διεργασιών (Lewis et al., 2000· Lewis & Kattmann, 2004· Lewis & Wood-Robinson, 2000). Τέλος, η απουσία περιβαλλοντικών στοιχείων διακατείχε τις περιγραφές της γονιδιακής λειτουργίας των μαθητριών/τών, φαινόμενο συχνό και στη βιβλιογραφία (Gericke & Hagberg, 2010b· Lewis & Kattmann, 2004) όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Τα χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κάποιο μοντέλο (6bx) και υβριδίζουν το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο, είναι συναφή με τα οργανωτικά επίπεδα στα οποία πραγματοποιείται η γονιδιακή λειτουργία (2Icy) και την επαγωγική ερμηνεία μεταξύ αυτών (6bx) που στην περίπτωση όλων των συμμετεχουσών/όντων ήταν το μοριακό επίπεδο και το μακρο- ή φαινοτυπικό επίπεδο.

Μαθήτριες/τές που εμφάνισαν στις αντιλήψεις τους το νεοκλασικό μοντέλο υβριδισμένο, διαφοροποιούνταν ως προς τις νατουραλιστικές σχέσεις έναντι των ιδεαλιστικών

στο μοντέλο τους (1, 2) ή ως προς την μη ιστορική αντίληψη της ισότιμης συμβολής γενετικών και περιβαλλοντικών στοιχείων στην παραγωγή ενός γνωρίσματος ή λειτουργίας (12, 13, 16).

Εξαιρέση αποτελεί η μαθήτρια 14, η οποία εμφάνισε και το Μεντελικό σε υβριδισμό 44% με το βιοχημικό-μοντέλο, η οποία περιέγραφε το γονίδιο ως αφηρημένη οντότητα, χωρίς υλική υπόσταση, αποκλειστικό χαρακτηριστικό του Μεντελικού μοντέλου.

5.2.3 Ποια από τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των επιμέρους επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 4)

Από τα αποτελέσματα της κύριας μελέτης ως προς τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά των ιστορικών μοντέλων (Gericke & Hagberg, 2007) στις αντιλήψεις βιολόγων εκπαιδευτικών, ανιχνευθήκαν συνολικά 1729 μεταβλητές και στις εννιά κατηγορίες των χαρακτηριστικών, ενώ 442 από αυτά (26%) δεν ανήκουν σε ιστορικά μοντέλα. Σύμφωνα με τη συχνότητα ανίχνευσής τους, τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών είναι οι εξής: 1e, 2Icy, 2IIa, 3b, 4b, 5Ia, 5IIa, 6bx, 7ax.

Παρατηρείται πως η κατανομή των πολυπληθέστερων χαρακτηριστικών ανά κατηγορία είναι πανομοιότυπη με αυτή των μαθητριών/τών, εκτός από το χαρακτηριστικό που περιγράφει τη σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων στη γονιδιακή λειτουργία (7) και που στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών υπερισχύει η 7ax. Το χαρακτηριστικό δεν ανήκει σε κάποιο ιστορικό μοντέλο και περιγράφει γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες ως δύο ανεξάρτητους παράγοντες που συμβάλλουν από κοινού σε ένα χαρακτηριστικό/λειτουργία. Αυτός ο τρόπος απεικόνισης προέκυψε από την ανάλυση σουηδικών και αγγλικών διδακτικών εγχειριδίων των Gericke και Hagberg (2010b), ενώ όπως αναφέρουν, παρόμοια ευρήματα έχουν αναφερθεί σε ισπανικά, γαλλικά και τυνησιακά εγχειρίδια, ενώ σε μελέτη γαλλικών σχολικών εγχειριδίων έχει αποδειχθεί ότι οι περιβαλλοντικές επιδράσεις συνδέονται κυρίως με πολυγονιδιακά μοντέλα γενετικού ντετερμινισμού (Gericke & Hagberg, 2010b).

Συνήθως αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γονιδίων και του περιβάλλοντος παραβλέπονται σε μεγάλο βαθμό στα εγχειρίδια, τα προγράμματα σπουδών και τις διδασκαλίες της βιολογίας (Haskel-Ittah, Duncan, Vázquez-Ben, et al., 2020), που σε συνδυασμό με την υπεραπλούστευση εννοιών της κληρονομικότητας όπως με την εστίαση σε μονογονιδιακά χαρακτηριστικά (2IIa) μπορεί να οδηγήσει σε προβληματικές ντετερμινιστικές θεωρήσεις των γενετικών χαρακτηριστικών ως κάτι που αποφασίζεται κυρίως από τα γονίδια και όχι ως κάτι

που διαμορφώνεται τόσο από τα γονίδια όσο και από το περιβάλλον (Castera et al., 2008· Gericke et al., 2014). Όταν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης των αντιλήψεων των μαθητριών/τών με των εκπαιδευτικών στο επίπεδο της συχνότητας των χαρακτηριστικών, φαίνεται πως η επίδραση του περιβάλλοντος στη γονιδιακή λειτουργία είναι το μόνο που δεν εκφράζεται επαρκώς από τις/τους μαθήτριες/τές, σε σχέση με τις/τους εκπαιδευτικούς. Οι ερευνητές συμφωνούν στο ότι δεν είναι απαραίτητο οι μαθήτριες/τές να κατανοήσουν τους λεπτομερείς μοριακούς μηχανισμούς με τους οποίους το περιβάλλον επηρεάζει τα γενετικά χαρακτηριστικά (Boerwinkel et al., 2017· Duncan et al., 2009· Haskel-Ittah, Duncan, & Yarden, 2020), αλλά να δοθεί έμφαση σε κεντρικές οντότητες μηχανισμών ρύθμισης, όπως οι υποδοχείς, και κεντρικές διαδικασίες όπως η κυτταρική σηματοδότηση, η ρύθμιση της πρωτεϊνικής δραστηριότητας και η ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης. Οι Gericke και συνεργάτες (2017) έχουν δείξει πως η γνώση των μηχανισμών της γονιδιακής έκφρασης και της γονιδιακής ρύθμισης δεν οδηγεί άμεσα στην ικανότητα εξήγησης φαινομένων που αφορούν τη ρύθμιση της γονιδιακής έκφρασης ως αποτέλεσμα περιβαλλοντικών σημάτων, ενώ αμφισβητείται αν η πληροφορία ότι «τόσο τα γονίδια όσο και το περιβάλλον διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά μας» και ότι «τα γονίδια μπορούν να ενεργοποιηθούν και να απενεργοποιηθούν» θα ήταν αρκετή για να μπορέσουν οι μαθήτριες/τές να εξηγήσουν πώς τα γονίδια και το περιβάλλον αλληλεπιδρούν σε ατομικό επίπεδο και να σκεφτούν για φαινόμενα και ζητήματα που πιθανόν να αντιμετωπίσουν ως πολίτες (Haskel-Ittah, Duncan, & Yarden, 2020).

Η χρήση των επιστημολογικών χαρακτηριστικών 2Icy και 6bx, τα οποία αντιστοιχούν στη σύνδεση του μοριακού με το μακρο-/φαινοτυπικό επίπεδο οργάνωσης στο λόγο των εκπαιδευτικών και η αντιστοίχιση γονιδίου-γονιδιακής λειτουργίας (2IIa), ειδικά αν συνοδεύεται από εξηγήσεις της σχέσης μεταξύ γονοτύπου-φαινοτύπου χωρίς εξήγηση μοριακού μηχανισμού σύνδεσης (πχ. πρωτεΐνες) (4b), μπορεί να οδηγήσει σε εναλλακτικές αντιλήψεις τις/τους μαθήτριες/τές και ιδέες γενετικού ντετερμινισμού όπως αναλύεται και στην ανάλυση για τις μαθήτριες/τές. Η γλώσσα που χρησιμοποιούν οι εκπαιδευτικοί στην τάξη εισάγει διαφορετικές έννοιες με τρόπους που θα μπορούσαν να συμβάλουν στις γνωστές δυσκολίες των μαθητριών/τών στην κατανόηση της γενετικής. Είναι σημαντικό, λοιπόν, να έχουν επίγνωση οι εκπαιδευτικοί του τρόπου με τον οποίο μικρές παραλλαγές στις εκφράσεις τους μπορούν να αλλάξουν το νόημα όσων λένε όταν διδάσκουν και ότι η κοινότητα της εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών έχει την ευθύνη να αντιμετωπίσει αυτά τα ζητήματα. Ακόμα, επίσης υποστηριχθεί ότι οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να αποσαφηνίζουν τις διαφορετικές

έννοιες των λέξεων που έχουν διαφορετικές σημασίες στην καθημερινή γλώσσα και στην επιστήμη (Thörne et al., 2013).

Υπάρχουν περιπτώσεις εκπαιδευτικών, όπου στο λόγο τους ανιχνεύθηκαν χαρακτηριστικά του σύγχρονου μοντέλου και που εμφανίζονται να επικρατούν στις αντιλήψεις ορισμένων εκπαιδευτικών. Η περιγραφή του γονιδίου ως ένα ή περισσότερα τμήματα DNA με διάφορους σκοπούς εμφανίζεται σε τρεις εκπαιδευτικούς (1d), ενώ επτά εκπαιδευτικοί όρισαν το γονίδιο ως διαδικασία (4d), μια αφηρημένη και απαιτητική προοπτική για να χρησιμοποιηθεί σε σχολικά εγχειρίδια ή τη διδασκαλία. Πέντε εκπαιδευτικοί παρουσίασαν τις σχέσεις στο μοντέλο της γονιδιακής λειτουργίας να διέπονται από μια διαδικασία (5IIb), ενισχύοντας έτσι την ολιστική από την αιτιατική προσέγγιση, και πέντε στις περισσότερες μονάδες ανάλυσης της συνέντευξής τους δεν ερμήνευσαν τη γονιδιακή λειτουργία επαγωγικά σε κάποιο οργανωτικό επίπεδο (6c). Ακόμα, υπήρξαν δύο περιπτώσεις στις οποίες οι εκπαιδευτικοί αναφέρθηκαν στην επιγενετική, αναφέροντας περιβαλλοντικά στοιχεία ως μέρος μιας διαδικασίας (7c).

5.2.4 Ποια ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία ανιχνεύονται στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα; (E.E. 6)

Αντιστοιχίζοντας τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά στα ιστορικά μοντέλα (Gericke & Hagberg, 2007) βρέθηκε πως το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο κυριάρχησε στις αντιλήψεις των βιολόγων εκπαιδευτικών, με την πλειοψηφία των πληροφορητριών/τών να εμφανίζει μεγάλα ποσοστά υβριδισμού (40-60%). Το νεοκλασικό μοντέλο κυριάρχησε σε 15 εκπαιδευτικούς, με την πλειοψηφία των πληροφορητριών/τών να εμφανίζει εύρος υβριδισμού 40-60% και μέσο όρο στο σύνολο των εκπαιδευτικών που παρουσίασαν αυτό το μοντέλο στις αντιλήψεις τους 47% υβριδισμό του μοντέλου. Ακολούθησε το βιοχημικό-κλασικό που ανιχνεύθηκε στις αντιλήψεις εννιά εκπαιδευτικών με μέσο όρο ποσοστού υβριδισμού 46%, ενώ το σύγχρονο μοντέλο εντοπίστηκε σε τρεις εκπαιδευτικούς (E16, E17, E22) με μέσο ποσοστό υβριδισμού 46%. Τέλος, στις αντιλήψεις της εκπαιδευτικού 22 εμφανίστηκαν το κλασικό μοντέλο και το σύγχρονο σε ποσοστά υβριδισμού 60%.

Το νεοκλασικό μοντέλο που χαρακτηρίζει τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών είναι νεότερο ιστορικά από ό,τι το βιοχημικό-κλασικό το οποίο υπερισχύει στις/στους μαθήτριες/τές. Ακόμα, είναι και ένα πιο συνεκτικό μοντέλο από ό,τι το βιοχημικό-κλασικό, καθώς δεν φέρει ασυνέπειες όπως αυτές περιεγράφηκαν παραπάνω. Παρ' όλα αυτά, ανιχνεύθηκε με μεγάλα ποσοστά υβριδισμού στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, ακόμα και

αν αντιπροσωπεύεται από μεγάλο αριθμό μοναδικών για το μοντέλο χαρακτηριστικών. Οι υβριδισμοί στο νεοκλασικό μοντέλο ήταν για όλες τις περιπτώσεις είτε με στοιχεία του σύγχρονου μοντέλου (3c, 5Ib, 7c) ή με χαρακτηριστικά που δεν ανήκουν σε κάποιο από τα ιστορικά μοντέλα (7ax).

Το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο που έρχεται δεύτερο στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών με το κλασικό και το νεοκλασικό, με διαφορετικούς συνδυασμούς επιστημολογικών χαρακτηριστικών.

Το σύγχρονο μοντέλο παρουσιάζεται στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών 16 και 17, ενώ ισοβαθεί με το κλασικό στην εκπαιδευτικό 22. Και στις τρεις περιπτώσεις ο υβριδισμός του σύγχρονου πραγματοποιείται με χαρακτηριστικά του κλασικού, του βιοχημικού-κλασικού και του νεοκλασικού. Αξιοσημείωτο είναι πως η μεταβλητή που περιγράφει το διαχωρισμό του γονοτύπου-φαινοτύπου είναι παρούσα και στις/τους τρεις εκπαιδευτικούς, γεγονός που αποδεικνύει τη συχνή χρήση του από τις/τους εκπαιδευτικούς. Η σύνδεση με την εμφάνιση τους ίδιου χαρακτηριστικού στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών είναι αναπόφευκτη και δείχνει έναν ισχυρό δεσμό και των εκπαιδευτικών με τέτοιες εξηγήσεις επιρροής του φαινότυπου από το γονότυπο χωρίς τον μοριακό μηχανισμό. Ακόμη και σήμερα είναι συχνά αρκετό στην επιστημονική κοινότητα να χρησιμοποιούνται απόψεις από τα παλαιότερα μοντέλα, ωστόσο, υπό ορισμένες συνθήκες απαιτείται η έννοια της διαδικασίας για τη λειτουργία του γονιδίου (Gericke & Hagberg, 2010b).

Γενικά συμπεράσματα

Με βάση τη συχνότητα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων που ανιχνεύθηκαν στις συνεντεύξεις μαθητριών/τών της Γ' Λυκείου και βιολόγων εκπαιδευτικών, εντοπίστηκαν τα μοντέλα που χρησιμοποιούν οι δυο ομάδες για την περιγραφή του γονιδίου και της γονιδιακής λειτουργίας. Και οι δυο ομάδες παρουσιάζουν υβριδικές αντιλήψεις χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα διαφορετικά χαρακτηριστικά από διαφορετικά μοντέλα. Στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών υπερίσχυσε το βιοχημικό-κλασικό μοντέλο, υβριδισμένο κατά 43%, ενώ υπήρξαν πέντε περιπτώσεις του νεοκλασικού (υβριδισμός 52%) και μία Μεντελικού (υβριδισμός 44%). Στους εκπαιδευτικούς επικράτησε το νεοκλασικό μοντέλο (47%), και υπήρξαν περιπτώσεις του βιοχημικού-κλασικού (46%), ενώ υπήρξαν και τρεις περιπτώσεις του σύγχρονου μοντέλου.

Η αναλυτική εικόνα των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που υιοθετούνται από μαθήτριες/τές, αλλά και εκπαιδευτικούς, υποδεικνύει στοιχεία συνδεδεμένα με εναλλακτικές αντιλήψεις, όπως την αντιστοιχία του γονιδίου και του χαρακτηριστικού ως ένα-προς-ένα

(2Πα), την απουσία μοριακής επεξήγησης του διαχωρισμού γονοτύπου και φαινοτύπου (4b) και την απουσία περιβαλλοντικών παραγόντων (7a), και που μπορεί να οδηγήσουν σε αντιλήψεις που διέπονται από γενετικό ντετερμινισμό.

5.3 Εκπαιδευτικές προεκτάσεις

5.3.1 Διδακτική της γενετικής

5.3.1.1 Ιστορικά μοντέλα στη διδασκαλία της γενετικής

Από τα ευρήματα της έρευνας αναδεικνύονται αναλυτικά τα στοιχεία που απαρτίζουν τις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και των εκπαιδευτικών σχετικά με το γονίδιο και τη λειτουργία του. Με αυτόν τον τρόπο η παρούσα έρευνα συστηματοποίησε την υπάρχουσα εκτενή βιβλιογραφία όσον αφορά τις αντιλήψεις μαθητριών/τών γύρω από έναν ενιαίο άξονα, αυτόν των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία των Gericke & Hagberg (2007). Ακόμα, συστηματοποίησε τις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών της ελληνικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, χρησιμοποιώντας τον ίδιο άξονα, με αποτέλεσμα τη σύγκρισή τους στο ίδιο πλαίσιο.

Πέρα από τη σύγκριση με τη διεθνή βιβλιογραφία, η αντιπαραβολή των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών δείχνει, μέσω των επιστημολογικών χαρακτηριστικών των μοντέλων, πως υπάρχει σύγκλιση στις θεωρήσεις των δύο ομάδων. Η επικράτηση του υβριδικό βιοχημικού-κλασικού μοντέλου στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών υποδεικνύει την παράλληλη χρήση εννοιών κλασικής γενετικής και μοριακής γενετικής στις εξηγήσεις τους, κάτι που διαφαίνεται και στα μοντέλα που αποτυπώνονται και στα κείμενα των διδακτικών εγχειριδίων (Christidou & Papadopoulou, 2020). Το υβριδικό νεοκλασικό μοντέλο που είναι πιο συχνό στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, είναι πιο σύγχρονο του βιοχημικού-κλασικού, αλλά εγείρει ερωτήματα ως προς τους λόγους για τους οποίους οι εκπαιδευτικοί δεν παρουσίασαν πιο συχνά, περισσότερα χαρακτηριστικά του σύγχρονου μοντέλου.

Η πληροφορία που έχει αποκτηθεί για όλες τις πτυχές της γονιδιακής λειτουργίας και πως την αντιλαμβάνονται οι μαθήτριες/τές, αποτελεί υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για το σχεδιασμό της διδασκαλίας της γενετικής από τις/τους εκπαιδευτικούς. Πέρα από τον εντοπισμό των εναλλακτικών αντιλήψεων, που αποδεικνύεται ότι emπίπτουν μέσα στις καταγεγραμμένες στη βιβλιογραφία, εργαλείο μπορεί να αποτελέσει και η προοπτική της ιστορίας της επιστήμης (History Of Science, HOS), που συνδέεται με την ιστορική εξέλιξη των μοντέλων. Έχει υποστηριχθεί από πολύ παλιά πως η χρήση ιστορικών μοντέλων γενετικής είναι σημαντικό εργαλείο στη διδασκαλία της γενετικής, καθώς αποτελεί πολύτιμη εμπειρία

για τις/τους μαθήτριες/τές η εξερεύνηση της ανάπτυξης μιας έννοιας ή ενός μοντέλου με την πάροδο του χρόνου και να παρατηρήσουν την ωρίμανσή του από την αρχική παρατήρηση, μέσω περιγραφικών δηλώσεων, και τελικά σε ένα επεξηγηματικό μοντέλο με προγνωστική δύναμη που είναι γενικά αποδεκτό από την σχετική κοινότητα των μελετητριών/τών (Gericke & Smith, 2014). Η εμπειρία της ανίχνευσης της εξέλιξης ενός επεξηγηματικού μοντέλου θα μπορούσε να διασαφηνίσει την κατανόηση των εννοιών από τις/τους ίδιους τους μαθήτριες/τές, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν πολλά αντικρουόμενα μοντέλα.. Επιπλέον, οι ιστορικές προοπτικές μπορούν να ευαισθητοποιήσουν τις/τους μαθήτριες/τές στην ανάπτυξη ιστορικών μοντέλων, στους περιορισμούς που επιβάλλονται σε ένα μοντέλο από τις υποκείμενες υποθέσεις του και στις επιπτώσεις της επιστημονικής μεθοδολογίας. Μια ιστορική προσέγγιση μπορεί να αμφισβητήσει την άποψη ότι το «σωστό» μοντέλο υπάρχει και περιμένει να «ανακαλυφθεί» όπως ένα αρχαιολογικό τεχνούργημα. Μια ιστορική προσέγγιση μπορεί επίσης να βοηθήσει τις/τους μαθήτριες/τές να αναγνωρίσουν ότι τα επεξηγηματικά μοντέλα είναι κατασκευές που αναπτύχθηκαν με την πάροδο του χρόνου για συγκεκριμένους σκοπούς και ότι μπορεί να είναι ελαττωματικά ή ανεπαρκή με διάφορους τρόπους (Kinnear 1991, στο Gericke & Smith, 2014).

Φαίνεται ότι οι μαθήτριες/τές υιοθετούν έννοιες που ανήκουν στην κλασική γενετική και στη μοριακή γενετική – στην παρούσα έρευνα το υβριδικό βιοχημικό-μοντέλο τους συνδυάζει έννοιες του κλασικού και του νεοκλασικού (μοριακή γενετική) μοντέλου – έχει καταγραφεί η δυσκολία τους ωστόσο στη διάκρισή σε κείμενα διδακτικών εγχειριδίων (Gericke et al., 2013), με αποτέλεσμα να τείνουν να χρησιμοποιούν ντετερμινιστικές κλασικές εξηγήσεις και συχνά εισάγουν έννοιες από την κλασική γενετική όταν επιχειρηματολογούν για τη μοριακή γενετική (Gericke & Wahlberg, 2013). Από τη στιγμή που συνήθως τα σχολικά εγχειρίδια οι δύσκολες αυτές πτυχές της περιγραφής της γονιδιακής λειτουργίας, όπως περιγράφονται από την ιστορία και τη φιλοσοφία της γενετικής, συχνά δεν εξετάζονται ρητά στα εγχειρίδια (Gericke & Hagberg 2010b).

5.3.1.2 Σύγχρονες έννοιες γενετικής στη διδασκαλία της γενετικής

Ακόμα ένα στοιχείο που αναδύθηκε από την παρούσα μελέτη είναι οι ελλειπείς εξηγήσεις των μαθητριών/τών και αρκετά συχνά και των εκπαιδευτικών για τον μοριακό μηχανισμό σύνδεσης του γονότυπου με τον φαινότυπο μέσω ενός διαμεσολαβητή, μιας πρωτεΐνης ή ενός ενζύμου. Αυτός ο καθορισμός χαρακτηριστικών από τα γονίδια, σε συνδυασμό με την παράλειψη των πρωτεϊνών ως διαμεσολαβητή, και της ιδέας της ένα-προς-ένα σχέσης των γονιδίων και

χαρακτηριστικών (Aivelo & Uitto, 2020) αποτελούν βασικά στοιχεία του γενετικού ντετερμινισμού (Stern et al., 2021) που έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί κρίσιμο εμπόδιο για τη σωστή κατανόηση της κληρονομικότητας και των συνεπειών της στην κοινωνία (Jiménez-Aleixandre, 2014).

Η ενσωμάτωση στη διδασκαλία σύγχρονων εννοιών της γενετικής για την γονιδιακή έκφραση και τον καθορισμό των χαρακτηριστικών, που περιγράφονται από το σύγχρονο μοντέλο τη γονιδιακής λειτουργίας είναι πλέον αναγκαία (Heemann & Hammann, 2020). Ενώ οι παραδοσιακά «μεντελικοί γενετικοί» τομείς, όπως τα μοτίβα κληρονομικότητας και οι γενετικές διασταυρώσεις, τείνουν να γίνονται ευκολότερα κατανοητά από τις/τους μαθήτριες/τές (Bowling et al., 2008· Smith et al., 2008), η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας που ενθαρρύνει τη μετάβαση από μια φαινοτυπική σε μια μοριακή ή μηχανιστική θεμελίωση της γενετικής φαίνεται στο ότι οι μαθήτριες/τές διατηρούν μια μοριακή ή μηχανιστική βάση για τις ιδέες τους σχετικά με την ενδογενή ποικιλομορφία δύο χρόνια μετά τη λήξη της διδασκαλίας (Todd et al., 2022).

Πολλές σύγχρονες έννοιες για τη γονιδιακή λειτουργία έχουν ενσωματωθεί και στα νέα αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών (*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΙΣ Α', Β' ΚΑΙ Γ' ΤΑΞΕΙΣ ΛΥΚΕΙΟΥ*, 2021) τα οποία δεν έχουν τεθεί ακόμα σε ισχύ, καθώς και η συγγραφή των διδακτικών εγχειριδίων δεν είναι ολοκληρωμένη. Όσον αφορά τη διδασκαλία της γενετικής, αλλαγές παρατηρούνται στο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών της Β' και Γ' Λυκείου. Στη Βιολογία της Β' Λυκείου συμπεριλαμβάνεται η Μεντελική θεώρηση της γονιδιακής έκφρασης, μέσω των νόμων της κληρονομικότητας, αλλά τονίζεται και ο ρόλος των πρωτεϊνών «ως προϊόντα έκφρασης του γενετικού υλικού» και η υλική υπόσταση του γονιδίου ως τμήμα DNA που φέρει γενετική πληροφορία. Στη Βιολογία της Γ' Λυκείου ενσωματώνονται έννοιες όπως η επιγενετική και επιγενετικοί μηχανισμοί (μεθυλίωση βάσεων, ακετυλίωση ιστονών), ενώ συνεχίζει η Μεντελική κληρονομικότητα να έχει θέση και σε αυτό το πρόγραμμα σπουδών. Είναι σαφές, πως μία/ένας εκπαιδευτικός που είναι εξοικειωμένος με τα πολλαπλά ιστορικά μοντέλα για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία και τις τάσεις στις αντιλήψεις μαθητριών/τών, έχει κάποια εργαλεία να αντιμετωπίσει την εννοιολογική ποικιλότητα που εμφανίζεται και σε αυτά τα προγράμματα σπουδών και να προσαρμόσει τη διδασκαλία της/του ανάλογα.

Η διδασκαλία των ιστορικών μοντέλων για το γονίδιο και τη γονιδιακή λειτουργία θα μπορούσε να αποτελέσει και εκπαιδευτικό περιεχόμενο, καθώς αντικατοπτρίζει τη μεταβαλλόμενη επιστημονική γνώση ιστορικά και μπορεί να ενσωματώσει στοιχεία της ιστορίας, αλλά και της φύσης της επιστήμης.

5.3.1.3 Ο γενετικός γραμματισμός στο πλαίσιο της Βιώσιμης Ανάπτυξης

Καθώς η παρούσα έρευνα διενεργείται στο πλαίσιο εκτίμησης πτυχής του γενετικού γραμματισμού ειδικά, και του επιστημονικού γενικότερα, στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, μπορεί να αποτελέσει υπόβαθρο πρακτικών που ενισχύουν εκπαιδευτικές πολιτικές, αλλά και δραστηριοτήτων που προωθούν την πρόσβαση στην ποιοτική εκπαίδευση με στόχο επιστημονικά εγγράμματα άτομα που μπορούν να χρησιμοποιούν την επιστημονική σκέψη για προσωπικούς και κοινωνικούς σκοπούς.

Καθώς ο κλάδος της γενετικής αποτελεί ολοένα και αυξανόμενο μέρος της σύγχρονης καθημερινής ζωής, οι πολίτες καλούνται συμμετέχουν σε διαδικασίες που απαιτούν βαθιά κατανόηση της επιστήμης, όπως και κατανόηση των γενετικών εννοιών, μεθόδων και διαδικασιών, δηλαδή τη γονιδιακή θεραπεία, τη διαθεσιμότητα των γενετικών εξετάσεων στο ευρύ κοινό με εμπορευματικό χαρακτήρα, την αναπαραγωγή, τα κληρονομικά και συμπεριφορικά ζητήματα, καθώς και τις κοινωνικές αντιπαραθέσεις σχετικά με την καταγωγή και τη φυλή (Ahmed et al., 2018· Aldahmash et al., 2012· Castro-Faix & Duncan, 2022· Donovan, 2021· Stern & Kampourakis, 2017). Επομένως, η συνεχής βελτίωση και αναθεώρηση των αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών, αλλά και η προσαρμογή της εκπαιδευτικής διαδικασίας, ώστε να καθιστά την εκπαίδευση στη γενετική προσβάσιμη και ποιοτική, χαρακτηριστικά τα οποία συμπεριλαμβάνονται και στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης, όπως αυτοί καθορίστηκαν από τα Ηνωμένα Έθνη (United Nations, 2015). Πιο συγκεκριμένα, ο Στόχος για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη αριθ. 4 (Ποιοτική Εκπαίδευση) αφορά τη διασφάλιση της ελεύθερης, ισότιμης και ποιοτικής εκπαίδευσης προάγοντας τις ευκαιρίες για δια βίου μάθηση. Στην αναλυτική στοχοθεσία περιλαμβάνεται η σημασία της καλλιέργειας της ταυτότητας του εγγράμμου παγκόσμιου πολίτη με πολύπλευρη εκπαίδευση σε γνώσεις και δεξιότητες που συνδέονται με τη βιώσιμη ανάπτυξη.

5.4 Περιορισμοί της έρευνας

5.4.1 Περιορισμοί της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης

Η διαδικασία της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης των επιλεγμένων δημοσιευμένων εργασιών παρουσίασε κάποιους περιορισμούς που αξίζει να αναφερθούν αναφορικά με το πλήθος των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που εντοπίστηκαν.

Ειδικότερα, η ποικιλία στο σκοπό και τη στόχευση της κάθε έρευνας είχε ως αποτέλεσμα να ανιχνεύονται λιγότερα, συνήθως, των εννιά επιστημολογικών χαρακτηριστικών των ιστορικών μοντέλων για κάθε μονάδα ανάλυσης και συνεπώς να καταγράφονται

αποσπασματικά οι αντιλήψεις τους των μαθητριών/τών σε σχέση με τα ιστορικά μοντέλα. Αυτό εντείνεται και από τις διαφορετικές ερευνητικές μεθοδολογίες που ακολουθούνται στις μελέτες αυτές, όπως για παράδειγμα επικέντρωση στις εναλλακτικές ιδέες, παρουσίαση διδακτικών ακολουθιών όπου παρακολουθείται η πρόοδος των μαθητριών/τών πριν και μετά από μια διδακτική παρέμβαση, ή εφαρμογή διαγνωστικών εργαλείων και εργαλείων αξιολόγησης/κατανόησης γενετικών εννοιών που συνήθως περιλαμβάνουν κυρίως κλειστού τύπου απαντήσεις. Η ποικιλομορφία στη μεθοδολογία των υπό ανάλυση μελετών, οι οποίες δεν παρουσίαζαν αποκλειστικά ποιοτικά δεδομένα, αποτελεί και απόκλιση από τη μέθοδο της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης.

Ακόμα, κάποια επιστημολογικά χαρακτηριστικά δεν βρέθηκαν καθόλου, χωρίς αυτό να υποδεικνύει ότι μπορεί να μην υπάρχουν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών στη βιβλιογραφία. Αυτό συντελεί και στην αδυναμία της μεθόδου αυτή να παρουσιάσει την ολιστική ερμηνεία ενός φαινομένου, μαζί και με την επιφύλαξη της πιθανής ύπαρξης μελετών που δεν εντοπίστηκαν μέσω των στρατηγικών αναζήτησης, ζητήματα που ακόμα δεν παρουσιάζουν συναίνεση ως προς την καταλληλότητα της μεθόδου και στην επιστημονική κοινότητα (Grant & Booth, 2009).

5.4.2 Επιλογή συμμετεχουσών/όντων κύριας μελέτης

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, η επιλογή των συμμετεχουσών/όντων επικεντρώθηκε στην εκπαιδευτική βαθμίδα της Γ' Λυκείου για τις/τους μαθήτριες/τές, ενώ ο ίδιος περιορισμός δεν υπήρξε για τις/τους εκπαιδευτικούς, των οποίων το διδακτικό αντικείμενο μπορεί να μεταβάλλεται ανά διδακτικό έτος.

Το γεγονός μη συμμετοχής ατόμων από τις υπόλοιπες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αποτελεί έναν περιορισμό της έρευνας. Παρά το μικρό εύρος κάλυψης θεμάτων γενετικής στις τάξεις της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και στις μικρότερες τάξεις της δευτεροβάθμιας, οι μαθήτριες/τές έρχονται σε επαφή με έννοιες και όρους πάνω στους οποίους δομούν τις αντιλήψεις τους για το γονίδιο και της λειτουργίας, αλλά και τους είναι αναγκαίοι, όπως η κατανόηση των οργανωτικών επιπέδων (κυτταρικό, οργανισμικό). Μια έρευνα που θα διερευνούσε τις αντιλήψεις προηγούμενων τάξεων, θα μπορούσε να δώσει τη δυνατότητα για παρακολούθηση της εξέλιξης των αντιλήψεων των μαθητριών/τών.

5.4.3 Ερευνητικό εργαλείο – συνέντευξη

Η συνέντευξη ως ερευνητικό εργαλείο εμφανίζει επιστημολογικούς περιορισμούς που αφορούν το γεγονός ότι οι ερευνητές δεν έχουν ουσιαστικά πρόσβαση στο μυαλό των ερωτώμενων και μπορούν να πληροφορηθούν μόνο για εκείνες τις διαστάσεις (αντιλήψεις, εμπειρίες, ερμηνείες) που οι συμμετέχουσες/οντες επιλέγουν να αποκαλύψουν στο πλαίσιο μιας ποιοτικής συνέντευξης (Ισαρη & Πουρκός, 2015).

5.4.4 Μεροληψία της ερευνήτριας

Στην παρούσα μελέτη η ερευνήτρια πραγματοποίησε την ερμηνεία της πλειοψηφίας των δεδομένων της κύριας μελέτης, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία της διαδικασίας ανάλυσης μέσω της συμφωνίας (90%) δύο ανεξάρτητων κωδικοποιητών στην πρώτη φάση της ανάλυσης.

Ακόμα, λόγω χρονικών περιορισμών, αλλά και όγκου δεδομένων στο συγκεκριμένο πλαίσιο της έρευνας, δεν καθέστη δυνατή η επικύρωση των ερμηνευμένων δεδομένων μέσω της διεξαγωγής τριγωνισμού των δεδομένων, όπου μεικτές μέθοδοι έρευνας παρέχουν πιο τεκμηριωμένα συμπεράσματα μέσω της διασταύρωσης των ευρημάτων. Ο τριγωνισμός των δεδομένων θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικών πηγών δεδομένων (π.χ. διαφορετικός χρόνος ή τόπος), την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων (π.χ. γραπτή εξέταση και παρατήρηση), τη συμμετοχή άλλων ερευνητριών ή ερευνητών, την υιοθέτηση διαφορετικών μοντέλων και τη χρήση συνδυασμού τύπων δεδομένων (π.χ. ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα) (Ισαρη & Πουρκός, 2015).

Συνεπώς υπάρχει πάντα η πιθανότητα ατομικής μεροληψίας στην ερμηνεία των δεδομένων, καθώς «ο ερευνητής που υιοθετεί ποιοτικές μεθόδους έρευνας δεν γίνεται αντιληπτός σαν αμερόληπτος και αντικειμενικός παρατηρητής αλλά ως φορέας των δικών του βιωμάτων, απόψεων, προσδοκιών και μεροληψιών», καθώς στην ποιοτική έρευνα η υποκειμενικότητα θεωρείται δεδομένη (Ισαρη & Πουρκός, 2015).

Οι περιπτώσεις που παρατέθηκαν στις ενότητες 5.4.2, 5.4.3 και 5.4.4 παραπάνω, αποτελούν περιορισμούς μόνο υπό το πρίσμα της θετικιστικής αντίληψης για την έρευνα, ενώ η στρατηγική δειγματοληψίας και η συνέντευξη ως ερευνητικό εργαλείο δεν είναι μειονεκτήματα στο νατουραλιστικό πλαίσιο που υπόκειται η παρούσα έρευνα.

5.5 Προτάσεις και μελλοντικές μελέτες

Τα ευρήματα αυτής της έρευνας έχουν συνέπειες για την πρακτική της διδασκαλίας της γενετικής και της διδασκαλίας της βιολογίας γενικότερα, καθώς και για τις μεθόδους έρευνας στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών.

5.5.1 Έννοιες γενετικής στον λόγο των εκπαιδευτικών

Μία σημαντική συμβολή της παρούσας έρευνας στην υπάρχουσα βιβλιογραφία αποτελεί η ανάλυση των αντιλήψεων των βιολόγων εκπαιδευτικών για έννοιες γενετικής, καθώς όπως φαίνεται και από το κομμάτι της συστηματικής ανασκόπησης, δεν υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία με αυτή την πληροφορία. Επομένως, η διεύρυνση της μελέτης όσον αφορά τις/τους εκπαιδευτικούς θα είχε ερευνητικό ενδιαφέρον, αλλά και προεκτάσεις για τη διαμόρφωση κατευθυντήριων γραμμών στη διδασκαλία της γενετικής. Δεδομένου ότι οι εκπαιδευτικοί έχουν σημαντικό ρόλο στο να βοηθήσουν τις/τους μαθήτριες/τές να κατακτήσουν τη γλώσσα της επιστήμης, με τους συγκεκριμένους όρους και το ύφος της ομιλίας, και ότι οι εκπαιδευτικοί αποτελούν σημαντική πηγή πληροφοριών στην τάξη, η χρήση της γλώσσας τους στη διδασκαλία έχει ερευνηθεί εκπληκτικά λίγο (Thörne & Gericke, 2014).

Η Thörne και ο Gericke (2014) χρησιμοποιώντας γλωσσική ανάλυση, μπόρεσαν να δείξουν πώς οι εκπαιδευτικοί μιλούν για τις πρωτεΐνες όταν διδάσκουν γενετική, βλέποντας τη γλώσσα που χρησιμοποιεί η/ο εκπαιδευτικός ως τον πυρήνα της διδασκαλίας. Σκοπός της μελέτης τους ήταν να διακρίνει πώς οι εκπαιδευτικοί μιλούν για τις πρωτεΐνες στη διδασκαλία της γενετικής και αν συμπεριέλαβαν την έννοια των πρωτεϊνών στη σύνδεση των διαφόρων οργανωτικών επιπέδων, όπως περιγράφεται στην ερευνητική βιβλιογραφία (Duncan & Reiser, 2007· Duncan & Tseng, 2011· Venville & Treagust, 2002), αλλά και από τα ευρήματα της παρούσας έρευνας. Με τη διερεύνηση του τι διδάσκεται στις/στους μαθήτριες/τές μέσω του προφορικού λόγου των εκπαιδευτικών, είχαν σκοπό να συμβάλουν στην κατανόηση του τι κρύβεται πίσω από τις προκλήσεις των μαθητριών/τών στη σύνδεση των εννοιών γονίδιο και χαρακτηριστικό και τις δυσκολίες τους στην κατανόηση του ρόλου των πρωτεϊνών σε αυτή τη σύνδεση. Αυτή η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε από τους ερευνητές, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα ενός γόνιμου τρόπου ανάλυσης του τρόπου με τον οποίο οι εκπαιδευτικοί διδάσκουν συγκεκριμένο περιεχόμενο στις τάξεις.

5.5.2 Γενετικό ντετερμινισμός σε μαθήτριες/τές και σε εκπαιδευτικούς

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας έδειξαν στοιχεία όπως προαναφέρθηκε που συνδέονται με τον γενετικό ντετερμινισμό: ελλειπείς εξηγήσεις των μαθητριών/τών και αρκετά συχνά και των εκπαιδευτικών, για τον μοριακό μηχανισμό σύνδεσης του γονότυπου με τον φαινότυπο μέσω ενός διαμεσολαβητή μιας πρωτεΐνης ή ενός ενζύμου, καθώς και η σχέση ένα-προς-ένα σχέση των γονιδίων με τα χαρακτηριστικά.

Η διερεύνηση της τάσης των αντιλήψεων σχετικά με τα συγκεκριμένα στοιχεία, που αποτελούν πολλές φορές πηγή δημιουργίας εναλλακτικών αντιλήψεων και παρανοήσεων, θα διασαφηνίσει και αν υπάρχει σύγχυση των μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών μέσα σε αυτή την εννοιολογική ποικιλότητα όρων που χρησιμοποιούν. Ο Stern και οι συνεργάτες του (2020) ανέπτυξαν ένα ερευνητικό εργαλείο, ένα ερωτηματολόγιο για τη μέτρηση της γενετικής τελεολογίας, και της γενετικής ουσιοκρατίας στο πλαίσιο της γενετικής, στις αντιλήψεις μαθητριών/τών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Ο γενετικός ντετερμινισμός δεν συμπεριλαμβάνεται στο εργαλείο τους, αλλά παρουσιάζουν προτάσεις διερεύνησής του.

Ακόμα, η Schmid και οι συνεργάτες της (2022) παρουσιάζουν τρόπους ενσωμάτωσης της περιβαλλοντικής επιρροής στη γονιδιακή λειτουργία στη διδασκαλία της γενετικής, που θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για την κατασκευή μιας διδακτικής μαθησιακής ακολουθίας.

Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο παραπάνω κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας διατριβής. Αναλύθηκαν τα αποτελέσματα της ποιοτικής συστηματικής ανασκόπησης της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπως και τα αποτελέσματα διερεύνησης των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών όσον αφορά το γονίδιο και τη λειτουργία του στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Υπήρξε εκτεταμένη αναφορά στη σύνδεση των ευρημάτων της έρευνας με την εκπαίδευση και πιο συγκεκριμένα με τις καταγεγραμμένες στη βιβλιογραφία εναλλακτικές αντιλήψεις που συνδέονται με κάποια ευρήματα.

Καταγράφηκαν οι περιορισμοί της έρευνας, η ανάλυση των δεδομένων της κύριας μελέτης μόνο από την ερευνήτρια και η έλλειψη άλλων πηγών δεδομένων για την επικύρωση των αποτελεσμάτων. Τέλος, προσδιορίστηκαν πεδία για περαιτέρω έρευνα όπως η περαιτέρω διερεύνηση του λόγου στη διδασκαλία των εκπαιδευτικών, καθώς και η σύνδεση του θεωρητικού πλαισίου της έρευνας με τα νέα προγράμματα σπουδών που θα ισχύσουν μελλοντικά στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση με σκοπό το σχεδιασμό διδακτικής προσέγγισης,

αλλά και η διερεύνηση των αντιλήψεων μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών για γενετικό ντετερμινισμό ή η δημιουργία εκπαιδευτικής πρότασης με την συμπερίληψη γενετικών παραγόντων στη διδασκαλία της γενετικής λειτουργίας.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agorram, B., Clement, P., Selmaoui, S., Khzami, S. E., Chafik, J., & Chiadli, A. (2010). University students' conceptions about the concept of gene: Interest of historical approach. *US-China Education Review, ISSN 1548-6613, USA, 7(2)*, 9–15. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01024976>
- Ahmed, M. A., Opatola, Y. M., Yahaya, L., & Sulaiman, M. M. (2018). Identification of Alternative Conceptions of Genetics held by Senior School Students in Ilorin, Nigeria, Using a Three-Tier Diagnostic Test. *KIU Journal of Social Sciences, 4(1)*, 97–104. <http://www.ijhumas.com/ojs/index.php/kiujoss/article/view/222>
- Aivelo, T., & Uitto, A. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *Nordic Studies in Science Education, 11(2)*, 139–152. <https://journals.uio.no/index.php/nordina/article/view/2042>
- 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. (2020). *Factors explaining students' attitudes towards learning in genetics and belief in genetic determinism* [Preprint]. EdArXiv. <https://doi.org/10.35542/osf.io/d5hgz>
- Albuquerque, P. M., de Almeida, A. M. R., & El-Hani, N. C. (2008). Gene Concepts in Higher Education Cell and Molecular Biology Textbooks. *Science Education International, 19(2)*, 219–234. <https://eric.ed.gov/?id=EJ890634>
- Aldahmash, A. H., Alshaya, F. S., & Asiri, A. A. (2012). Secondary school students' Alternative conceptions about genetics. *Electronic Journal of Science Education, 16(1)*. <http://ejse.southwestern.edu/article/view/7401>
- Angraini, E., Amin, M., Zubaidah, S., & Susanto, H. (2023). Student perceptions of a TPACK-Integrated virtual classroom for genetics instruction. *AIP Conference Proceedings, 2569(1)*, 020032. <https://doi.org/10.1063/5.0112442>
- Antonelli-Ponti, M., Versuti, F. M., Da Silva, J. A., Antonelli-Ponti, M., Versuti, F. M., & Da Silva, J. A. (2018). Teachers' perception about genes and behavior. *Estudos de Psicologia (Campinas), 35(4)*, 421–431. <https://doi.org/10.1590/1982-02752018000400009>
- Bahar, M. (2003). Misconceptions in biology education and conceptual change strategies. *Educational Sciences: Theory & Practice, 3*, 55–64.

- Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84–86. <https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>
- Bahar, M., Johnstone, A. H., & Sutcliffe, R. G. (1999). Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, 33(3), 134–141. <https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655653>
- Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313–351. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.0.CO;2-N)
- 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>
- Bapty, H. (2022). Must Introductory Genetics Start with Mendel? *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00361-z>
- Blonder, R., & Mamlok-Naaman, R. (2019). Teaching chemistry through contemporary research versus using a historical approach. *Chemistry Teacher International*, 0(0). <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0011>
- Boerwinkel, D. J., Yarden, A., & Waarlo, A. J. (2017). Reaching a Consensus on the Definition of Genetic Literacy that Is Required from a Twenty-First-Century Citizen. *Science and Education*, 26(10), Article 10. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9934-y>
- Boujemaa, A., Clément, P., Selmaoui, S., Salaheddine, K., Abdellatif, C., & Jamal, C. (2010). University students' conceptions about the concept of gene: Interest of historical approach. *China Education Review*, vol 7.
- Bowling, B. V., Acra, E. E., Wang, L., Myers, M. F., Dean, G. E., Markle, G. C., Moskalik, C. L., & Huether, C. A. (2008). Development and Evaluation of a Genetics Literacy Assessment Instrument for Undergraduates. *Genetics*, 178(1), 15–22. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.079533>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Browning, M. E., & Lehman, J. D. (1988). Identification of student misconceptions in genetics problem solving via computer program. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 747–761. <https://doi.org/10.1002/tea.3660250905>
- Burian, R. M., & Kampourakis, K. (2013). Against “Genes For”: Could an Inclusive Concept of Genetic Material Effectively Replace Gene Concepts? In K. Kampourakis (Ed.), *The*

- Philosophy of Biology: A Companion for Educators* (pp. 597–628). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6537-5_26
- Carver, R. B., Castéra, J., Gericke, N., Evangelista, N. A. M., & El-Hani, C. N. (2017). Young Adults' Belief in Genetic Determinism, and Knowledge and Attitudes towards Modern Genetics and Genomics: The PUGGS Questionnaire. *PloS One*, *12*(1), e0169808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169808>
- Castro-Faix, M., & Duncan, R. G. (2022). Cross-sectional study of students' molecular explanations of inheritance patterns. *Science Education*, *106*(2), 412–447. <https://doi.org/10.1002/sce.21692>
- Castera, J., Clement, P., Abrougui, M., Nisiforou, O., Valanides, N., Turcinaviciene, J., Sarapuu, T., Agorram, B., Calado, F., Bogner, F., & Carvalho, G. (2008). Genetic Determinism in School Textbooks: A Comparative Study Conducted among Sixteen Countries. *Science Education International*, *19*(2), 163–184. <https://eric.ed.gov/?id=EJ890631>
- Chattopadhyay, A. (2005). Understanding of Genetic Information in Higher Secondary Students in Northeast India and the Implications for Genetics Education. *Cell Biology Education*, *4*(1), 97–104. <https://doi.org/10.1187/cbe.04-06-0042>
- Chin, C., & Teou, L.-Y. (2010). Formative Assessment: Using Concept Cartoon, Pupils' Drawings, and Group Discussions to Tackle Children's Ideas about Biological Inheritance. *Journal of Biological Education*, *44*(3), 108–115.
- Cho, H.-H., Kahle, J. B., & Nordland, F. H. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, *69*(5), 707–719. <https://doi.org/10.1002/sce.3730690512>
- Christidou, A., & Papadopoulou, P. (2018). Representations of gene models in Greek secondary school biology textbooks. *XII Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB)*, 65. https://eventos.unizar.es/_files/_event/_8746/_editorFiles/file/eridob2018/Abstracts%20Book%20Eridob%202018.pdf
- Christidou, A., & Papadopoulou, P. (2020). Representations of gene models in Greek secondary school biology textbooks. In B. Puig, P. B. Anaya, M. J. G. Quílez, & M. Grace (Eds.), *A selection of papers presented at the XIIth conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB)* (pp. 225–236). University of Zaragoza.
- Clough, E. E., & Wood-Robinson, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, *19*(4), 304–310. <https://doi.org/10.1080/00219266.1985.9654757>

- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. R. B. (2007). *Research Methods in Education*. Routledge.
- Dikmenli, M., Cardak, O., & Kiray, S. A. (2011). Science Student Teachers' Ideas about the 'Gene' Concept. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15(Supplement C), 2609–2613. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.155>
- Donovan, B. M. (2021). Ending Genetic Essentialism Through Genetics Education. *Human Genetics and Genomics Advances*, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.xhgg.2021.100058>
- Donovan, B. M., Weindling, M., & Lee, D. M. (2020). From Basic to Humane Genomics Literacy. *Science & Education*, 29(6), 1479–1511. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00171-1>
- Donovan, J., & Venville, G. (2012). Exploring the influence of the mass media on primary students' conceptual understanding of genetics. *Education 3-13*, 40(1), 75–95. <https://doi.org/10.1080/03004279.2012.635058>
- Donovan, J., & Venville, G. (2014). Blood and Bones: The Influence of the Mass Media on Australian Primary School Children's Understandings of Genes and DNA. *Science and Education*, 23(2), 325–360. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9491-3>
- Dorji, K., Tshering, P., Chettri, R. K., & Dorji, L. (2017). Conceptual Understanding of Genetic Phenomena by Higher Secondary School Students: A Case of Samtse Dzongkhag. *Educational Innovation and Practice*, 2(1), 1–20.
- Dorji, K., Tshering, P., & Dorji, U. (2017). Understanding of Genetic Entities: Exploration of Bhutanese Students' Conceptual Status. *Rabsel- the CERD Educational Journal*, 18(2), 11–25.
- Dougherty, M. J., Pleasants, C., Solow, L., Wong, A., & Zhang, H. (2011). A Comprehensive Analysis of High School Genetics Standards: Are States Keeping Pace with Modern Genetics? *CBE Life Sciences Education*, 10(3), 318–327. <https://doi.org/10.1187/cbe.10-09-0122>
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12. <https://doi.org/10.3102/0013189X023007005>
- Duncan, R. G., & Castro-Faix, M. (2021). How Can Learning Progressions Support the Development of Genetic Literacy? In M. Haskel-Ittah & A. Yarden (Eds.), *Genetics Education: Current Challenges and Possible Solutions* (pp. 55–70). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_4
- Duncan, R. G., Freidenreich, H. B., Chinn, C. A., & Bausch, A. (2011). Promoting Middle School Students' Understandings of Molecular Genetics. *Research in Science Education*, 41(2), 147–167. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9150-0>

- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938–959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th–10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655–674. <https://doi.org/10.1002/tea.20312>
- Duncan, R. G., & Tseng, K. A. (2011). Designing project-based instruction to foster generative and mechanistic understandings in genetics. *Science Education*, 95(1), 21–56. <https://doi.org/10.1002/sce.20407>
- El-Hani, C., Almeida, A. M. R. de, Bomfim, G. C., Joaquim, L. M., Magalhães, J. C. M., Meyer, L. M. N., Pitombo, M. A., & Santos, V. C. dos. (2014). The Contribution of History and Philosophy to the Problem of Hybrid Views About Genes in Genetics Teaching. In *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 469–520). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_16
- El-Hani, C. N. (2007). Between the cross and the sword: The crisis of the gene concept. *Genetics and Molecular Biology*, 30(2), 297–307. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572007000300001>
- Falk, R. (2014). The Allusion of the Gene: Misunderstandings of the Concepts Heredity and Gene. *Science & Education*, 23(2), 273–284. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9510-4>
- Flodin, V. S. (2009). The Necessity of Making Visible Concepts with Multiple Meanings in Science Education: The Use of the Gene Concept in a Biology Textbook. *Science & Education*, 18(1), 73–94. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9127-1>
- Flodin, V. S. (2017). Characterisation of the Context-Dependence of the Gene Concept in Research Articles. *Science & Education*, 26(1–2), 141–170. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9879-1>
- Fogle, T. (1990). Are genes units of inheritance? *Biology and Philosophy*, 5(3), 349–371. <https://doi.org/10.1007/BF00165258>
- Forissier, T., & Clément, P. (2003). Teaching 'biological identity' as genome/environment interactions. *Journal of Biological Education*, 37(2), 85–90. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655857>
- Franke, G., Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F. X. (2013). Investigation of Students' Alternative Conceptions of Terms and Processes of Gene Technology. *International Scholarly Research Notices*, 2013, e741807. <https://doi.org/10.1155/2013/741807>

- Gericke, N. (2021). How Can Epigenetics be Used to Integrate Nature and Nurture in Genetics Education? In M. Haskel-Ittah & A. Yarden (Eds.), *Genetics Education: Current Challenges and Possible Solutions* (pp. 17–34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_2
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2007). Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science & Education*, *16*(7–8), 849–881. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9064-4>
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2010a). Conceptual Incoherence as a Result of the use of Multiple Historical Models in School Textbooks. *Research in Science Education*, *40*(4), 605–623. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9136-y>
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2010b). Conceptual Variation in the Depiction of Gene Function in Upper Secondary School Textbooks. *Science & Education*, *19*(10), 963–994. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9262-y>
- Gericke, N., Hagberg, M., & Jorde, D. (2013). Upper Secondary Students' Understanding of the Use of Multiple Models in Biology Textbooks—The Importance of Conceptual Variation and Incommensurability. *Research in Science Education*, *43*(2), 755–780. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9288-z>
- Gericke, N., Hagberg, M., Santos, V. C. dos, Joaquim, L. M., & El-Hani, C. N. (2014). Conceptual Variation or Incoherence? Textbook Discourse on Genes in Six Countries. *Science & Education*, *23*(2), 381–416. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9499-8>
- Gericke, N., & Mc Ewen, B. (2023). Defining epigenetic literacy: How to integrate epigenetics into the biology curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, *n/a*(n/a), 1–39. <https://doi.org/10.1002/tea.21856>
- Gericke, N. M., & Smith, M. U. (2014). Twenty-First-Century Genetics and Genomics: Contributions of HPS-Informed Research and Pedagogy. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 423–467). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_15
- Gericke, N., & Wahlberg, S. (2013). Clusters of concepts in molecular genetics: A study of Swedish upper secondary science students understanding. *Journal of Biological Education*, *47*(2), 73–83. <https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Aldine.
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, *26*(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>

- Halldén, O. (1988). The evolution of the species: Pupil perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, 10(5), 541–552. <https://doi.org/10.1080/0950069880100507>
- Haskel-Ittah, M., & Duncan, R. G. (2021). Undergraduate Students Reasoning about Genetic Mechanisms. In E. de Vries, Y. Hod, & J. Ahn (Eds.), *Proceedings of the 15th International Conference of the Learning Sciences—ICLS 2021*. (pp. 107–114). International Society of the Learning Sciences. https://drive.google.com/file/d/1NuYhdOKDgpp_omNH6qXKYmAh2G5_c9iv/view
- Haskel-Ittah, M., Duncan, R. G., Vázquez-Ben, L., & Yarden, A. (2020). Reasoning about genetic mechanisms: Affordances and constraints for learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(3), 342–367. <https://doi.org/10.1002/tea.21595>
- Haskel-Ittah, M., Duncan, R. G., & Yarden, A. (2020). Students' Understanding of the Dynamic Nature of Genetics: Characterizing Undergraduates' Explanations for Interaction between Genetics and Environment. *CBE—Life Sciences Education*, 19(3), ar37. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0221>
- Haskel-Ittah, M., & Yarden, A. (2017). Toward Bridging the Mechanistic Gap Between Genes and Traits by Emphasizing the Role of Proteins in a Computational Environment. *Science & Education*, 26(10), 1143–1160. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9927-x>
- Haskel-Ittah, M., Yarden, A., & Spell, R. (2018). Students' Conception of Genetic Phenomena and Its Effect on Their Ability to Understand the Underlying Mechanism. *CBE—Life Sciences Education*, 17(3), ar36. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-01-0014>
- Heemann, T., & Hammann, M. (2020). Towards teaching for an integrated understanding of trait formation: An analysis of genetics tasks in high school biology textbooks This paper was presented at the ERIDOB conference 2020. *Journal of Biological Education*, 54(2), 191–201. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1739421>
- Jamieson, A., & Radick, G. (2017). Genetic Determinism in the Genetics Curriculum: An Exploratory Study of the Effects of Mendelian and Weldonian Emphases. *Science and Education*, 26(10), Article 10. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9900-8>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science & Education*, 23(2), 465–484. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9561-6>
- Johnston, R. (2023). Is it time to remove Mendel from the school curriculum? *Journal of Biological Education*, 57(4), 707–708. <https://doi.org/10.1080/00219266.2023.2243690>

- Justi, R., & Gilbert, J. (1999). A cause of ahistorical science teaching: Use of hybrid models. *Science Education*, 83(2), 163–177. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199903\)83:2<163::AID-SCE5>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199903)83:2<163::AID-SCE5>3.0.CO;2-I)
- Justi, R., & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: Some challenges in the case of “the atom.” *International Journal of Science Education*, 22(9), 993–1009. <https://doi.org/10.1080/095006900416875>
- Justi, R. S. (2000). Teaching with Historical Models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 209–226). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_11
- Kampourakis, K. (2013). Mendel and the Path to Genetics: Portraying Science as a Social Process. *Science & Education*, 22(2), 293–324. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9323-2>
- Kampourakis, K. (2017). *Making Sense of Genes*. Cambridge University Press.
- Kampourakis, K. (2021). Should We Give Peas a Chance? An Argument for a Mendel-Free Biology Curriculum. In M. Haskel-Ittah & A. Yarden (Eds.), *Genetics Education: Current Challenges and Possible Solutions* (pp. 3–16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_1
- Kampourakis, K., Silveira, P., & Strasser, B. J. (2016). How Do Preservice Biology Teachers Explain the Origin of Biological Traits?: A Philosophical Analysis. *Science Education*, 100(6), 1124–1149. <https://doi.org/10.1002/sce.21245>
- Kılıç, D., & Sağlam, N. (2009). Development of a two-tier diagnostic test concerning genetics concepts: The study of validity and reliability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 2685–2686. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.474>
- Kılıç, D. (2021). What do Students Really Understand? Secondary Education Students’ Conceptions of Genetics. *Science Insights Education Frontiers*, 10(2). <https://doi.org/10.15354/sief.21.or061>
- Kılıç, D., & Sağlam, N. (2014). Students’ understanding of genetics concepts: The effect of reasoning ability and learning approaches. *Journal of Biological Education*, 48(2), 63–70. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.837402>
- Kılıç, D., Taber, K. S., & Winterbottom, M. (2016). A Cross-National Study of Students’ Understanding of Genetics Concepts: Implications from Similarities and Differences in England and Turkey. *Education Research International*, 2016, 6539626. <https://doi.org/10.1155/2016/6539626>

- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education: The yo-yo learning and teaching strategy* [Doctoral thesis, Utrecht University]. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/219>
- Knippels, M.-C. P. J., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108–112. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655976>
- Koers, A. (2016). *Which meaning do students, with knowledge of genetics on upper secondary school biology level, attribute to the concept 'hereditary trait'?* [Master thesis]. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/327903>
- Krippendorff, K. (2019). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781071878781>
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71–94. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C)
- Lawson, A. E., & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 733–746. <https://doi.org/10.1002/tea.3660250904>
- LeVaughn, J. (2016). *What's in a gene: Undergraduates' ideas and misconceptions about gene function* [Master thesis, University of Kentucky]. https://uknowledge.uky.edu/stem_etds/6
- Lewis, J. (2014). From Flavr Savr Tomatoes to Stem Cell Therapy: Young People's Understandings of Gene Technology, 15 Years on. *Science & Education*, 23(2), 361–379. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9523-z>
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195–206. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000a). All in the genes? — Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74–79. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655689>
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000b). Chromosomes: The missing link — young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189–199. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655717>
- Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000c). What's in a cell? — Young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal*

of *Biological Education*, 34(3), 129–132.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655702>

- Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance—Do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177–195. <https://doi.org/10.1080/095006900289949>
- Machová, M., & Ehler, E. (2021). Secondary school students' misconceptions in genetics: Origins and solutions. *Journal of Biological Education*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136>
- Maghfiroh, H., Zubaidah, S., Mahanal, S., & Susanto, H. (2023). A systematic review of genetic literacy interventions in secondary schools. *AIP Conference Proceedings*, 2569(1), 020030. <https://doi.org/10.1063/5.0112439>
- Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4), 183–189. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655775>
- Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200–205. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655718>
- Mardiyyaningsih, A. N. (2021). *Addressing students' misunderstanding of basic concepts in genetics through the development of targeted educational resources* [Thesis, University of Leicester]. <https://doi.org/10.25392/leicester.data.14745609.v1>
- Martínez-Gracia, M. V., Gil-Quílez, M. J., & Osada, J. (2006). Analysis of molecular genetics content in Spanish secondary school textbooks. *Journal of Biological Education*, 40(2), 53–60. <https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656014>
- Martins, I., & Ogborn, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of Science Education*, 19(1), 47–63. <https://doi.org/10.1080/0950069970190104>
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance* (Reprint edition). Belknap Press.
- Medin, D., & Atran, S. (Eds.). (1999). *Folkbiology*. The MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262631921/folkbiology/>
- Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, 178(3), 1157–1168. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>
- Morange, M. (2017). *Une histoire de la biologie*. POINTS.

- Morange, M. (2017). *Ιστορία της Βιολογίας* (Α. Λάκκα, Μεταφ.). Utopia. <https://www.politeianet.gr/books/9786185173227-morange-michel-utopia-istoria-tis-biologias-278702> (Το πρωτότυπο έργο δημοσιεύθηκε 2016)
- Morange, M. (2020). *The Black Box of Biology: A History of the Molecular Revolution* (M. Cobb, Trans.). Harvard University Press. (Original work published 2003)
- National Human Genome Research Institute. (2022, August 16). *A Brief Guide to Genomics*. <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/A-Brief-Guide-to-Genomics>
- National Human Genome Research Institute. (2024, January 3). *Bioinformatics*. <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Bioinformatics>
- Nelson-Ebimie, D. M., Adolphus, T., Omeodu, D. M., & Naade, N. B. (2023). Identification of Biology Students' Misconceptions in Genetics Among Secondary School Students in Nembe Local Government Area in Bayelsa State. *Rivers State University Journal of Education*, 26(1), 11–19. <https://rsujoe.com.ng/index.php/joe/article/view/150>
- Newman, D. L., Coakley, A., Link, A., Mills, K., & Wright, L. K. (2021). Punnett Squares or Protein Production? The Expert–Novice Divide for Conceptions of Genes and Gene Expression. *CBE—Life Sciences Education*, 20(4), ar53. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-01-0004>
- Osman, E., BouJaoude, S., & Hamdan, H. (2017). An Investigation of Lebanese G7-12 Students' Misconceptions and Difficulties in Genetics and Their Genetics Literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(7), 1257–1280. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9743-9>
- Palmquist, M. E., Carley, K. M., & Dale, T. A. (1997). Two applications of automated text analysis: Analyzing literary and non-literary texts. In C. Roberts (Ed.), *Two applications of automated text analysis: Analyzing literary and non-literary texts*. Lawrence Erlbaum. <https://www.routledge.com/Text-Analysis-for-the-Social-Sciences-Methods-for-Drawing-Statistical-Inferences/Roberts/p/book/9780805817355>
- Pashley, M. (1994). A-level students: Their problems with gene and allele. *Journal of Biological Education*, 28(2), 120–126. Scopus. <https://doi.org/10.1080/00219266.1994.9655377>
- Pearson, Y. E., & Liu-Thompkins, Y. (2012). Consuming Direct-to-Consumer Genetic Tests: The Role of Genetic Literacy and Knowledge Calibration. *Journal of Public Policy & Marketing*, 31(1), 42–57. <https://doi.org/10.1509/jppm.10.066>
- Pontarotti, G., Mossio, M., & Pocheville, A. (2022). The genotype–phenotype distinction: From Mendelian genetics to 21st century biology. *Genetica*, 150(3), 223–234. <https://doi.org/10.1007/s10709-022-00159-5>

- Portin, P. (1993). The concept of the gene: Short history and present status. *The Quarterly Review of Biology*, 68(2), 173–223.
- Portin, P. (2002). Historical development of the concept of the gene. *The Journal of Medicine and Philosophy*, 27(3), 257–286. <https://doi.org/10.1076/jmep.27.3.257.2980> *Qualitative inquiry and research design*. (2023, October 26). SAGE Publications Inc. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-inquiry-and-research-design/book246896>
- Radick, G. (2023). *Disputed Inheritance: The Battle over Mendel and the Future of Biology*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/D/bo183632870.html>
- Rampin, R., & Rampin, V. (2021). Taguette: Open-source qualitative data analysis. *Journal of Open Source Software*, 6(68), 3522. <https://doi.org/10.21105/joss.03522>
- Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2005). Understanding molecular genetics through a drawing-based activity. *Journal of Biological Education*, 39(4), 174–178. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655992>
- Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2006). Effect of bead and illustrations models on high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(5), 500–529. <https://doi.org/10.1002/tea.20144>
- Sadler, P. M., Coyle, H., Smith, N. C., Miller, J., Mintzes, J., Tanner, K., & Murray, J. (2013). Assessing the Life Science Knowledge of Students and Teachers Represented by the K–8 National Science Standards. *CBE-Life Sciences Education*, 12(3), 553–575. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-06-0078>
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A Cross-Age Study of the Understanding of Three Genetic Concepts: How Do They Image the Gene, DNA and Chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 192–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9006-6>
- Santos, V. C. dos, Joaquim, L. M., & El-Hani, C. N. (2012). Hybrid Deterministic Views About Genes in Biology Textbooks: A Key Problem in Genetics Teaching. *Science & Education*, 21(4), 543–578. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9348-1>
- Schmid, K. M., Lee, D., Weindling, M., Syed, A., Agyemang, S.-L. Y., Donovan, B., Radick, G., & Smith, M. K. (2022). Mendelian or Multifactorial? Current Undergraduate Genetics Assessments Focus on Genes and Rarely Include the Environment. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 23(3), e00093-22. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00093-22>

- Shaw, K. R. M., Horne, K. V., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, *178*(3), 1157–1168. <https://doi.org/10.1534/genetics.107.084194>
- Smith, J. I., & Tanner, K. (2010). The Problem of Revealing How Students Think: Concept Inventories and Beyond. *CBE—Life Sciences Education*, *9*(1), 1–5. <https://doi.org/10.1187/cbe.09-12-0094>
- Smith, M. K., Wood, W. B., & Knight, J. K. (2008). The Genetics Concept Assessment: A New Concept Inventory for Gauging Student Understanding of Genetics. *CBE-Life Sciences Education*, *7*(4), 422–430. <https://doi.org/10.1187/cbe.08-08-0045>
- Smith, M. U., & Adkison, L. R. (2010). Updating the Model Definition of the Gene in the Modern Genomic Era with Implications for Instruction. *Science & Education*, *19*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11191-008-9161-7>
- Smith, M., & Gericke, N. (2015). Mendel in the Modern Classroom. *Science & Education*, *24*(1–2), 151–172. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9629-y>
- 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>
- Stern, F., Kampourakis, K., Delaval, M., & Müller, A. (2020). Development and validation of a questionnaire measuring secondary students’ genetic essentialism and teleology (GET) conceptions. *International Journal of Science Education*, *42*(2), 218–252. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1707905>
- Stern, F., Kampourakis, K., Delaval, M., & Müller, A. (2021). How are High-School Students’ Teleological and Essentialist Conceptions Expressed in the Context of Genetics and What Can Teachers Do to Address Them? In M. Haskel-Ittah & A. Yarden (Eds.), *Genetics Education: Current Challenges and Possible Solutions* (pp. 145–159). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86051-6_9
- Stern, F., Kampourakis, K., & Müller, A. (2023). “Genes for a role,” “genes as essences”: Secondary students’ explicit and implicit intuitions about genetic essentialism and teleology. *Journal of Research in Science Teaching*, *60*(2), 237–267. <https://doi.org/10.1002/tea.21796>
- Stewart, J., Cartier, J. L., & Passmore, C. M. (2005). Developing Understanding Through Model-Based Inquiry. In *How Students Learn: Science in the Classroom* (p. 51). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11102>
- Stewart, J., & Dale, M. (1989). High school students’ understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. *Science Education*, *73*(4), 501–521. <https://doi.org/10.1002/sce.3730730410>

- Sutton, C. (1992). *Words, Science And Learning*. Open University Press.
- Sutton, C. R. (1980). The Learner's Prior Knowledge: A Critical Review of Techniques for Probing its Organization. *European Journal of Science Education*, 2(2), 107–120. <https://doi.org/10.1076/jmep.27.3.257.2980>
- Thörne, K., & Gericke, N. (2014). Teaching Genetics in Secondary Classrooms: A Linguistic Analysis of Teachers' Talk About Proteins. *Research in Science Education*, 44(1), 81–108. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9375-9>
- Thörne, K., Gericke, N., & Hagberg, M. (2013). Linguistic Challenges in Mendelian Genetics: Teachers' Talk in Action. *Science Education*, 97(5), 695–722. <https://doi.org/10.1002/sce.21075>
- Todd, A., & Kenyon, L. (2016). Empirical refinements of a molecular genetics learning progression: The molecular constructs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1385–1418. <https://doi.org/10.1002/tea.21262>
- Todd, A., Romine, W. L., & Whitt, K. C. (2017). Development and Validation of the Learning Progression–Based Assessment of Modern Genetics in a High School Context. *Science Education*, 101(1), 32–65. <https://doi.org/10.1002/sce.21252>
- Todd, A., Romine, W., Sadeghi, R., Cook Whitt, K., & Banerjee, T. (2022). How do high school students' genetics progression networks change due to genetics instruction and how do they stabilize years after instruction? *Journal of Research in Science Teaching*, 59(5), 779–807. <https://doi.org/10.1002/tea.21744>
- Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159–169. <https://doi.org/10.1080/0950069880100204>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' Understanding of the Role of Scientific Models in Learning Science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357–368.
- Tsopoglou-Gkina, D., & Papadopoulou, P. (2019). Genetic Concepts, Representations And Models In Students' And Educators' Conceptions. *The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging with Contemporary Challenges through Science Education*, Levrini, O. & Tasquier, G. (Eds.), 50–59. <https://doi.org/978-88-945874-0-1978-88-945874-0-1>
- Tsui, C., & Treagust, D. (2010a). Evaluating secondary students' scientific reasoning in genetics using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1073–1098. Scopus. <https://doi.org/10.1080/09500690902951429>

- Tsui, C., & Treagust, D. (2010b). Evaluating Secondary Students' Scientific Reasoning in Genetics Using a Two-Tier Diagnostic Instrument. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1073–1098. <https://doi.org/10.1080/09500690902951429>
- United Nations. (2015, September 25). Sustainable Development Goals. Retrieved from <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html>, December 20
- Venville, G., Gribble, S., & Donovan, J. (2005). An exploration of young children's understandings of genetics concepts from ontological and epistemological perspectives. *Science Education*, 89(4), 614–633. <https://doi.org/10.1002/sci.20061>
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (2002). Teaching about the gene in the genetic information age. *Australian Science Teachers Journal*, 48(2), 20–24. <https://doi.org/10.3316/aeipt.119842>
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031–1055. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199811\)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199811)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E)
- Venville, G., & Treagust, D. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031–1055. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199811\)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199811)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E)
- Vosniadou, S. (2020, July 30). *Students' Misconceptions and Science Education*. Oxford Research Encyclopedia of Education. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.965>
- Walker, S. O., & Plomin, R. (2005). The Nature–Nurture Question: Teachers' perceptions of how genes and the environment influence educationally relevant behaviour. *Educational Psychology*, 25(5), 509–516. <https://doi.org/10.1080/01443410500046697>
- Wampold, B. E., Wright, J. C., Williams, P. H., Millar, S. B., Koscuik, S. A., & Penberthy, D. L. (1998). A Novel Strategy for Assessing the Effects of Curriculum Reform on Student Competence. *Journal of Chemical Education*, 75(8), 986. <https://doi.org/10.1021/ed075p986>
- Wilkins, J. S. (2013). Essentialism in Biology. In K. Kampourakis (Ed.), *The Philosophy of Biology: A Companion for Educators* (pp. 395–419). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6537-5_19

- Wood-Robinson, C., Lewis, J., & Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35(1), 29–36. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655732>
- Αδαμαντιάδου, Σμ., Γεωργάτου, Μ., Γιαπιτζάκης, Χ., & Λάκκα, Λ. (2013). *Βιολογία Β' Γενικού Λυκείου*.
- Αλεπόρου-Μαρίνου, Σ., Αργυροκαστρίτης, Α., Κομητοπούλου, Α., Πιαλόγλου, Π., & Σγουρίτσα, Β. (2013). *Βιολογία Γ' Γενικού Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας – Τεύχος Β'.* Διόφαντος.
- Αμπατζίδης, Γ., & Καμπουράκης, Κ. (2022). Αποδίδοντας διαφορετικά νοήματα στην ίδια έννοια: Γιατί η εννοιολογική ποικιλομορφία δεν πρέπει να εκλαμβάνεται ως εννοιολογική ασυνέπεια. Στο Κ. Καμπουράκης, Μ. Εργαζάκη, Κ. Κορφιάτης, & Π. Κ. Στασινάκης (Επίμ.), *Διδακτική της βιολογίας* (σσ. 125–145). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. <https://www.cup.gr/book/didaktiki-tis-viologias/>
- Γαλάνης, Π. (2009). Συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση. *ΑΡΧΕΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ*, 26(6), 826–841.
- Γιασεμής, Η. (2011). *Μελέτη γνώσεων και στάσεων μαθητών λυκείου έναντι θεμάτων βιοτεχνολογίας και γενετικής* [Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Ανθρωπιστικών και Κοινωνικών Επιστημών. Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης και της Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία]. <http://hdl.handle.net/10442/hedi/31967>
- Ζουπίδης, Α. (2012). *Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων φυσικών επιστημών και τεχνολογίας: Εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης* [Διδακτορική Διατριβή]. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας: Παιδαγωγική Σχολή - Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών.
- Ίσαρη, Φ., & Πουρκός, Μ. (2015). *Ποιοτική μεθοδολογία έρευνας*. <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5826>
- Καμπουράκης, Κ. (2021). *Τι είναι, τελικά, τα γονίδια*. (Μ. Παπαϊωάννου, Μεταφ.: 01/2021 ed.). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. <https://www.cup.gr/book/ti-einai-telika-ta-gonidia/> (Πρωτότυπο έργο δημοσιεύθηκε 2017)
- Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι. Ε., Περάκη, Β., & Σαλαμαστράκης, Σ. (2013). *Βιολογία Γ' Γενικού Λυκείου Ομάδας Προσανατολισμού Σπουδών Υγείας – Τεύχος Α'.*
- Κεμεντσιετζίδου, Σ. Ε. (2009). *Διερεύνηση γνώσεων, απόψεων και στάσεων μαθητών Μέσης Εκπαίδευσης Δυτικής Θεσσαλονίκης, σε θέματα Γενετικής και Βιοτεχνολογίας* [Μεταπτυχιακή διπλωματική]. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κολιόπουλος, Δ. (2006). *Θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών. Η συγκρότηση της σχολικής γνώσης* (Πρώτη έκδοση). ΜΕΤΑΙΧΜΙΟ.

- Κουμπάρου, Ε., Κυριακούδη, Μ., & Αθανασίου, Κ. (2011). Εξέλιξη των ιδεών των Ελλήνων μαθητών για τη Γενετική και την Κληρονομικότητα. *Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες*. 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ένωσης για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία, Αλεξανδρούπολη.
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ., & Καμπούρη, Α. (2017). *Βιολογία Β' και Γ' Γυμνασίου*. Διόφαντος.
- Πατελάρου, Ε., & Μπροκαλάκη, Η. (2010). Μεθοδολογία της Συστηματικής Ανασκόπησης και Μετα-ανάλυσης. *ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗ*, 49(2), 122–130. <https://www.hjn.gr/index.php/el/2020/tomos-59-teyxos-2/418-2010203>
- Τσιώλης, Γ. (2015). Ανάλυση ποιοτικών δεδομένων: Διλήμματα, δυνατότητες, διαδικασίες. Στο Γ. Πυργιωτάκης & Χρ. Θεοφιλίδης (Επίμ.), *Ερευνητική Μεθοδολογία στις Κοινωνικές Επιστήμες και στην Εκπαίδευση. Συμβολή στην επιστημολογική θεωρία και την ερευνητική πράξη*. (σσ. 473–498). Πεδίο.
- Φόλλας, Θ. (2017). *Εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στη Γενετική* [Μεταπτυχιακή διπλωματική, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο]. <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/35718>
- Χαλκιά, Κ. (2011). *Σημειώσεις του μαθήματος Διδακτική των Φυσικών Επιστημών: Vol. Α' Τόμος* (σσ. 11–18). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Ι. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ

ΟΔΗΓΟΣ ΗΜΙΑΟΜΗΜΕΝΗΣ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ

Κληρονομικότητα

1. Γιατί οι περισσότεροι άνθρωποι μοιάζουν με τους γονείς τους;
2. Πώς μεταφέρονται τα γονίδια από τους γονείς στα παιδιά τους;

Γενετική δομή

3. Τι πιστεύετε ότι είναι το γονίδιο;
4. Πού βρίσκεται ένα γονίδιο στο ανθρώπινο σώμα;
5. Ποια είναι η σύσταση του γονιδίου;
6. Ποια είναι η σχέση των γονιδίων με το DNA;
7. Ποια είναι η σχέση μεταξύ των γονιδίων και των χρωμοσωμάτων;
 - α. Ποιες οι ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ των γονιδίων και των χρωμοσωμάτων;

Γενετικές διαδικασίες

8. Τι πιστεύετε ότι κάνει το γονίδιο;
 9. Σε ποιο επίπεδο οργάνωσης δρα το γονίδιο;
 10. Πώς το κάνει αυτό (να ελέγχει χαρακτηριστικά);
 - α. Πώς είναι επικρατή/υπολειπόμενα, ή πώς τα γονίδια ελέγχουν ένα επικρατές χαρακτηριστικό;
 11. Ποια η επίδραση του περιβάλλοντος στη γονιδιακή λειτουργία;
-

Παράρτημα II. ΕΝΤΥΠΙΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ

Για συμμετοχή μαθητριών/τών



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΦΛΩΡΙΝΑΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΗΠΙΑΓΩΓΩΝ

Έντυπο ενημέρωσης και συγκατάθεσης των γονέων και κηδεμόνων για συμμετοχή των μαθητών/-τριών στην έρευνα

Σκοπός της διενεργούμενης έρευνας είναι η διερεύνηση των εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητών και εκπαιδευτικών για τις έννοιες, αναπαραστάσεις και μοντέλα στη γενετική με σκοπό την προσφορά κατευθύνσεων προόδου για τη βελτίωση ή και αναδιαμόρφωση των αναλυτικών προγραμμάτων και των διδακτικών διαδικασιών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Οι μαθητές/-ριες θα συμμετάσχουν, ανωνύμως, σε συνέντευξη (15 - 20 λεπτά περίπου συνολικός χρόνος), η οποία θα ηχογραφηθεί, με ερωτήσεις σχετικές με τη Γενετική.

Η συνέντευξη θα απομαγνητοφωνηθεί, με στόχο την ανάλυση εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την έρευνα του παρόντος διδακτορικού.

Η ερευνήτρια και το Πανεπιστήμιο δεσμεύονται να χειριστούν τα δεδομένα με πλήρη εμπιστευτικότητα για όλες τις πληροφορίες που θα αποκτηθούν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας και οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην ταυτοποίηση των συμμετεχόντων. Πιθανή δημοσίευση θα περιλαμβάνει μόνο γραπτά αποσπάσματα, με απόλυτη ανωνυμία.

Για τυχόν απορίες σε θέματα αναφορικά με την επιστημονική έρευνα, μπορείτε να επικοινωνήσετε με την υπεύθυνη ερευνήτρια. Είμαστε στη διάθεσή σας για οποιαδήποτε διευκρίνιση σχετικά με όσα προαναφέρθηκαν και σας ευχαριστούμε για τη συμβολή σας στην πραγμάτωση αυτής της προσπάθειας.

Ερευνήτρια

Δάσποινα Τσόπογλου-Γκίνα, MSc

Υποψήφια Διδάκτωρ, Διδακτική της Βιολογίας

Τηλ. Επικοινωνίας: 6976290404

Email: dtsopoglou@uowm.gr

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Πηνελόπη Παπαδοπούλου, Ph.D.

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Εκπαίδευση στη Βιολογία

Email: ppapadopoulou@uowm.gr

Διάβασα το παραπάνω κείμενο και δηλώνω υπεύθυνα ότι αποδέχομαι τη συμμετοχή του παιδιού μου στην έρευνα. Το παιδί μου διατηρεί το δικαίωμα να αποσυρθεί από τη διαδικασία της έρευνας σε οποιοδήποτε στάδιο της διεξαγωγής της.

Ονοματεπώνυμο Γονέα ή Κηδεμόνα

[Υπογραφή]

Ημερομηνία:

«Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου ερευνητικού δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας» (MIS-5000432), που υλοποιεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ)».



Ευρωπαϊκή Ένωση
European Union

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού,
Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





Έντυπο ενημέρωσης και συγκατάθεσης εκπαιδευτικών για συμμετοχή στην έρευνα

Σκοπός της διενεργούμενης έρευνας είναι η διερεύνηση των εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητών και εκπαιδευτικών για τις έννοιες, αναπαραστάσεις και μοντέλα στη γενετική με σκοπό την προσφορά κατευθύνσεων προόδου για τη βελτίωση ή και αναδιαμόρφωση των αναλυτικών προγραμμάτων και των διδακτικών διαδικασιών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Οι εκπαιδευτικοί θα συμμετάσχουν, ανωνύμως, σε συνέντευξη (15 - 20 λεπτά περίπου συνολικός χρόνος), η οποία θα ηχογραφηθεί, με ερωτήσεις σχετικές με τη Γενετική.

Η συνέντευξη θα απομαγνητοφωνηθεί, με στόχο την ανάλυση εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την έρευνα του παρόντος διδακτορικού.

Η ερευνήτρια και το Πανεπιστήμιο δεσμεύονται να χειριστούν τα δεδομένα με πλήρη εμπιστευτικότητα για όλες τις πληροφορίες που θα αποκτηθούν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας και οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στην ταυτοποίηση των συμμετεχόντων. Πιθανή δημοσίευση θα περιλαμβάνει μόνο γραπτά αποσπάσματα, με απόλυτη ανωνυμία.

Για τυχόν απορίες σε θέματα αναφορικά με την επιστημονική έρευνα, μπορείτε να επικοινωνήσετε με την υπεύθυνη ερευνήτρια. Είμαστε στη διάθεσή σας για οποιαδήποτε διευκρίνιση σχετικά με όσα προαναφέρθηκαν και σας ευχαριστούμε για τη συμβολή σας στην πραγμάτωση αυτής της προσπάθειας.

Ερευνήτρια

Δέσποινα Τσόπογλου-Γκίνα, MSc

Υποψήφια Διδάκτωρ, Διδακτική της Βιολογίας

Τηλ. Επικοινωνίας: 6976290404

Email: dtsohoglou@uowm.gr

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Πηνελόπη Παταδοπούλου, Ph.D.

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Εκπαίδευση στη Βιολογία

Email: pparadopolou@uowm.gr

Διάβασα το παραπάνω κείμενο και δηλώνω υπεύθυνα ότι αποδέχομαι τη συμμετοχή μου στην έρευνα. Διατηρώ το δικαίωμα να αποσυρθώ από τη διαδικασία της έρευνας σε οποιοδήποτε στάδιο της διεξαγωγής της.

Όνοματεπώνυμο Συμμετεχόντος/-ουσας

[Υπογραφή]

Ημερομηνία:

«Το έργο συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου ερευνητικού δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας» (MIS-5000432), που υλοποιεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ)».



Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού,
Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

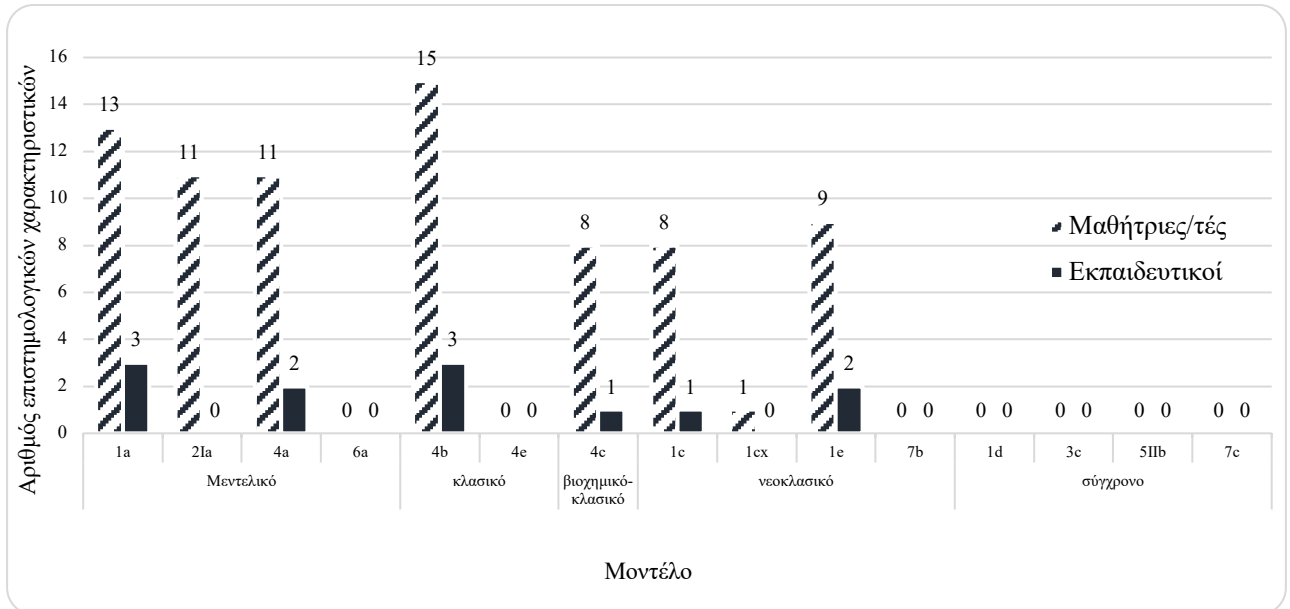


Παράρτημα ΙΙΙ. ΜΕΤΑΓΡΑΦΗ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΕΩΝ

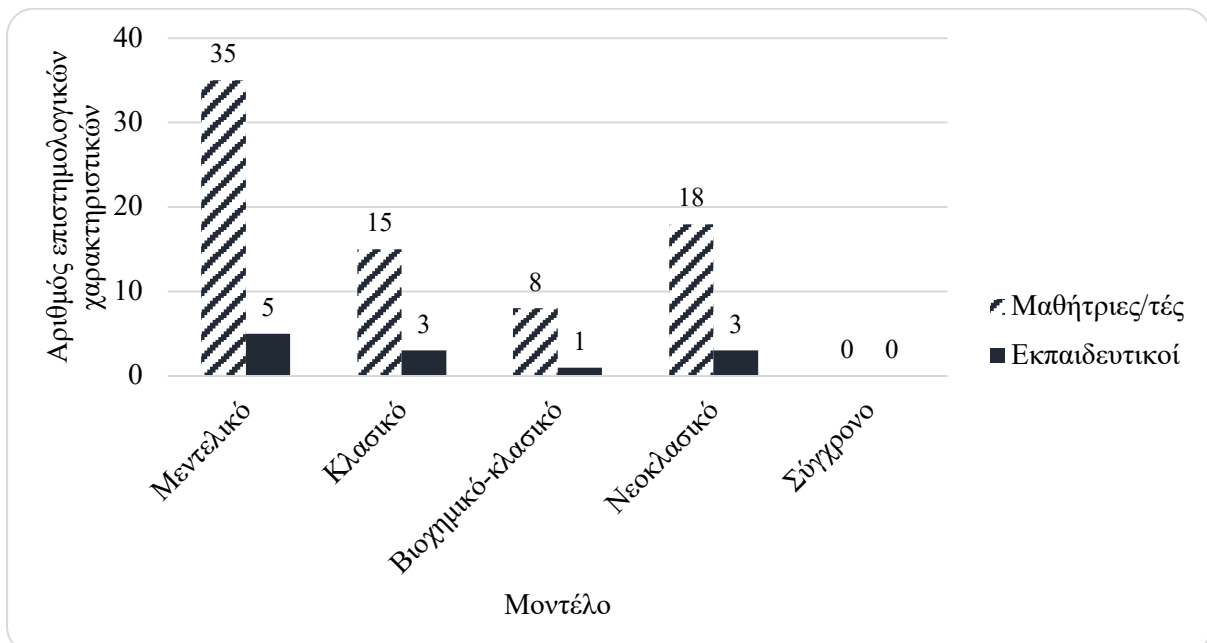
Κανόνες απομαγνητοφώνησης και μεταγραφής συνεντεύξεων

- Η ερευνήτρια ορίζεται ως «Ε» και οι πληροφορήτριες/τές ως «Μ..» με το αριθμητικό 01-18 δίπλα για τις/τους μαθήτριες/τές (π.χ. Μ03), ενώ ως «Ε..» με το αριθμητικό 01-25 δίπλα για τις/τους εκπαιδευτικούς.
- Σχόλια μέσα στη ροή του κειμένου καταγράφηκαν σε αγκύλες, όπως [γέλια], καθώς και σχόλια της ερευνήτριας ώστε να γίνει αντιληπτό κάτι που συνέβη και διέκοψε ή επηρέασε τη ροή του κειμένου (π.χ. χαμηλό σήμα διαδικτύου με αποτέλεσμα τη διακοπή της διαδικτυακής συνέντευξης)
- Διατηρήθηκαν στη ροή του κειμένου μη λεκτικές εκφράσεις όπως «εεε» και «εεμ».
- Οι παύσεις αποτυπώνονται με αποσιωπητικά, το πλήθος των οποίων αυξάνει με τη διάρκεια της παύσης, αλλά δεν χρονομετρήθηκαν. Τα εσφαλμένα ξεκινήματα και οι επαναλήψεις λέξεων διατηρούνται.
- Σημεία στίξης που χρησιμοποιήθηκαν είναι η τελεία, το ερωτηματικό και το θαυμαστικό, όταν υπήρχε έμφαση στη φωνή της/του πληροφορήτριας/τή.

Παράρτημα IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ



Γράφημα 39. Κατηγορίες των μοναδικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά μοντέλο, όπως ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις μαθητριών/ τών (N = 76) και εκπαιδευτικών (N = 12).



Γράφημα 40. Πλήθος μοναδικών επιστημολογικών χαρακτηριστικών ανά μοντέλο, όπως ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις μαθητριών/ τών (N = 76) και εκπαιδευτικών (N = 12).

Παράρτημα V. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΣΕ ΜΑΘΗΤΡΙΕΣ/ΤΕΣ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ

Πίνακας 26. Περιγραφή των επιστημολογικών χαρακτηριστικών (Christidou & Papadopoulou, 2020· Gericke & Hagberg, 2010b· Santos et al., 2012) που χρησιμοποιήθηκαν και η συχνότητά τους στις αντιλήψεις μαθητριών/τών και εκπαιδευτικών. Η ποσοστιαία συχνότητα υπολογίζεται με βάση το συνολικό πλήθος των επιστημολογικών χαρακτηριστικών που ανιχνεύθηκαν στις αντιλήψεις των μαθητριών/τών (N = 1316) και των εκπαιδευτικών (N = 1731).

Επιστημολογικά χαρακτηριστικά		Συχνότητα επιστημολογικών χαρακτηριστικών στις αντιλήψεις (%)	
		μαθητριών/τών (N = 1316)	εκπαιδευτικών (N = 1731)
Η σχέση δομής και λειτουργίας του γονιδίου			
1a	Το γονίδιο είναι μια αφηρημένη οντότητα και δεν έχει δομή.	0,9%	0,1%
1b	Το γονίδιο είναι ένα σωματίδιο πάνω στο χρωμόσωμα.	1,3%	0,4%
1c	Το γονίδιο είναι ένα τμήμα DNA.	2,4%	1,7%
1cx	Το γονίδιο και οι λειτουργίες του σχετίζονται με το DNA. (Christidou & Papadopoulou, 2020)	1,8%	0,8%
1d	Το γονίδιο αποτελείται από ένα ή περισσότερα DNA τμήματα με διάφορους σκοπούς.	0,5%	1,0%
1e	Το γονίδιο είναι φορέας και/ή μονάδα πληροφορίας. (Santos et al., 2012)	3,7%	5,1%
1f	Το γονίδιο υπάρχει σε συχνότητες. (Christidou & Papadopoulou, 2020)	0,2%	0,6%
Η σχέση μεταξύ οργανωτικού επιπέδου και καθορισμού της γονιδιακής λειτουργίας			
2Ia	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο- και συμβολικό επίπεδο.	0,3%	0,2%
2Ib	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο- και κυτταρικό επίπεδο.	1,0%	0,5%
2Ibx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μακρο-, κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο.	1,7%	1,8%
2Ic	Το μοντέλο έχει οντότητες στο μοριακό επίπεδο.	0,7%	1,7%
2Icx	Το μοντέλο έχει οντότητες στο κυτταρικό- και μοριακό επίπεδο.	0,2%	0,2%
2Icy	Το μοντέλο έχει οντότητες στο φαινοτυπικό και στο μοριακό επίπεδο. (Santos et al., 2012)	7,2%	7,9%
2IIa	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι ένα-προς-ένα.	6,2%	5,1%
2IIb	Η αντιστοιχία μεταξύ ενός γονιδίου και μιας γονιδιακής λειτουργίας είναι πολλά-προς-πολλά.	0,6%	2,3%
Η «πραγματική» προσέγγιση στον καθορισμό της γονιδιακής λειτουργίας			
3a	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από πάνω προς τα κάτω (top-down).	2,7%	1,4%
3b	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up).	10,0%	7,9%
3c	Η λειτουργία του γονιδίου ορίζεται μέσω μιας διαδικασίας.	0,5%	3,3%
Η σχέση μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου			
4a	Δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου.	1,0%	0,1%
4b	Υπάρχει διαχωρισμός, χωρίς επεξήγηση, μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου.	7,1%	6,1%
4c	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου με ένα ένζυμο ως διαμεσολαβητή.	2,4%	3,1%

Πίνακας 26, συνέχεια

4d	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου, που εξηγείται με βιοχημικές διαδικασίες.	0,5%	2,2%
4e	Υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ γονοτύπου και φαινότυπου, με χρωμοσωμική εξήγηση. (Christidou & Papadopoulou, 2020)	0,8%	0,5%
Οι ιδεαλιστικές έναντι των νατουραλιστικών σχέσεις στα μοντέλα			
5Ia	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι ιδεαλιστικές.	7,8%	4,6%
5Ib	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι νατουραλιστικές.	1,9%	3,5%
5IIa	Οι σχέσεις στο μοντέλο είναι αιτιακές και μηχανιστικές.	10,1%	5,8%
5IIb	Οι σχέσεις στο μοντέλο διέπονται από μια διαδικασία και είναι ολιστικές.	0,5%	2,9%
Το πρόβλημα της επαγωγικής ερμηνείας			
6a	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο συμβολικό επίπεδο.	0,3%	0,2%
6b	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο κυτταρικό επίπεδο.	1,7%	0,9%
6bx	Υπάρχει επαγωγική ερμηνεία από το μακρο- επίπεδο στο μοριακό επίπεδο.	8,3%	8,7%
6c	Δεν υπάρχει επαγωγική ερμηνεία.	0,8%	2,5%
Η σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών και γενετικών παραγόντων			
7a	Δε συμπεριλαμβάνονται περιβαλλοντικά στοιχεία.	9,2%	5,8%
7ax	Περιβαλλοντικά και γενετικά στοιχεία οδηγούν σε ένα γνώρισμα / προϊόν / λειτουργία.	4,9%	6,9%
7b	Περιβαλλοντικά στοιχεία υπονοούνται από το αναπτυξιακό σύστημα.	0,8%	2,6%
7c	Περιβαλλοντικά στοιχεία εμφανίζονται ως μέρος μιας διαδικασίας.	0,0%	1,6%