

## Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση

Τόμ. 5, Αρ. 1-2 (2012)

Ειδικό Αφιέρωμα: «Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες»



**Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικού υλικού για προώθηση της κατανόησης μαθητών λυκείου για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου**

*Χριστάκης Αβραάμ, Νίκος Παπαδούρης*

### Βιβλιογραφική αναφορά:

Αβραάμ Χ., & Παπαδούρης Ν. (2012). Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικού υλικού για προώθηση της κατανόησης μαθητών λυκείου για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 127-139. ανακτήθηκε από <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44583>

# Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικού υλικού για προώθηση της κατανόησης μαθητών λυκείου για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου

Χριστάκης Αβραάμ, Νίκος Παπαδούρης  
[christakis\\_avraam@yahoo.com](mailto:christakis_avraam@yahoo.com), [npapa@ucy.ac.cy](mailto:npapa@ucy.ac.cy)

Ερευνητική Ομάδα Μάθησης στις Φυσικές και Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Πανεπιστήμιο Κύπρου

**Περίληψη.** Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην προσπάθεια ανάπτυξης και ερευνητικής επικύρωσης διδακτικού υλικού για την προώθηση κατανόησης μαθητών λυκείου για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το διδακτικό υλικό είναι μέρος ενός ευρύτερου μαθησιακού περιβάλλοντος στη διαδικτυακή πλατφόρμα ΣΤΟΧΑΣΜΟΣ, ενώ περιλαμβάνει επιπρόσθετα πειραματικές δραστηριότητες και αντίστοιχα φύλλα εργασίας. Το διδακτικό υλικό επιχειρεί να καθοδηγήσει τους μαθητές να αναπτύξουν αρχικά επιμέρους ιδέες στις οποίες στηρίζεται το φαινόμενο και να τις συνθέσουν σταδιακά, ώστε να οικοδομήσουν το μηχανισμό λειτουργίας του. Το διδακτικό υλικό έχει εφαρμοσθεί σε συνεργασία με μια ομάδα 25 μαθητών λυκείου. Έχουν συλλεχθεί δεδομένα πριν και μετά την εφαρμογή του, μέσω γραπτών έργων αξιολόγησης και συνεντεύξεων, ώστε να διερευνηθεί η εξέλιξη στην κατανόηση των μαθητών. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων φανερώνουν τη δυνατότητα της διδακτικής ακολουθίας να προωθεί αποτελεσματικά την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών. Ειδικότερα, καταδεικνύουν τη σημαντική βελτίωση στην ικανότητά τους να περιγράφουν το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου και να τον εφαρμόζουν σε ανοίξεις καταστάσεις για να διατυπώσουν προβλέψεις για τη θερμοκρασία της γης.

**Λέξεις κλειδιά:** φαινόμενο θερμοκηπίου, εννοιολογική κατανόηση, μηχανιστικός συλλογισμός

## Εισαγωγή

Παραδοσιακά, η διδασκαλία της φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, στηρίζεται σε διδακτικά εγχειρίδια που τείνουν να ευνοούν το εύρος της διδακτέας ύλης έναντι του βάθους του διδακτικού τους χειρισμού. Ειδικότερα, καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος θεματικών ενοτήτων και συνήθως καταλήγουν να περιορίζονται στην απλή παράθεση εξηγήσεων για σχετικά φαινόμενα, σε τελική μορφή, και ορισμών για σχετικές έννοιες (Kesidou & Roseman, 2002) μεταθέτοντας, ακολούθως, την έμφαση στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων. Αυτή η διδακτική προσέγγιση τείνει να ευνοεί την αντίληψη ότι ένας αποτελεσματικός τρόπος να ανταποκριθεί κανείς με επιτυχία στις απαιτήσεις μαθημάτων φυσικής περιλαμβάνει την απομνημόνευση ορισμών για έννοιες, θεωρημάτων ή νόμων και την αποστήθιση αλγόριθμων για την επίλυση ποσοτικών προβλημάτων. Παρά το γεγονός ότι αυτή η προσέγγιση συχνά καταλήγει να πιστώνεται όντως με «υψηλή επίδοση» είναι σαφές ότι δεν οδηγεί σε πραγματική εννοιολογική κατανόηση (McDermott, 1991). Ο σημαντικότερος ίσως λόγος για αυτό είναι η σύγκρουση αυτής της διδακτικής προσέγγισης με την τρέχουσα κατανόηση για το πώς οικοδομείται η μάθηση στις φυσικές επιστήμες. Ειδικότερα, η σύγκρουση έγκειται στην παράκαμψη της ανάγκης να παρέχεται στους μαθητές η ευκαιρία να εμπλέκονται σε διεργασίες διερώτησης (inquiry) και μέσα από κατάλληλη στήριξη να συλλέγουν δεδομένα και να αναπτύσσουν οι ίδιοι εννοιολογικά

μοντέλα τα οποία να εφαρμόζουν για να ερμηνεύουν και να προβλέπουν τη λειτουργία φαινομένων και φυσικών συστημάτων.

Σε αυτό το πλαίσιο, καθίσταται προφανής η ανάγκη για μετάθεση της έμφασης της διδασκαλίας η οποία, ωστόσο, συνοδεύεται από διάφορες προϋποθέσεις. Μια από αυτές, σχετίζεται με την ανάγκη σχεδιασμού διδακτικού υλικού που να μπορεί να υποστηρίξει αυτή τη μετάθεση. Η παρούσα εργασία συνδέεται με αυτή την ανάγκη, αφού εστιάζει στο σχεδιασμό και την ερευνητική επικύρωση διδακτικού υλικού για μια συγκεκριμένη θεματική ενότητα: το μηχανισμό λειτουργίας του φαινόμενου του θερμοκηπίου. Η έμφαση στο διδακτικό υλικό τοποθετείται στην καθοδήγηση των μαθητών, ώστε να αναπτύξουν σταδιακά το μηχανισμό λειτουργίας του συγκεκριμένου φαινομένου και να τον εφαρμόζουν για να ερμηνεύσουν παρατηρησιακά δεδομένα που αφορούν σε διακυμάνσεις στη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης και επίσης για να διατυπώνουν προβλέψεις για τις συνέπειες που απορρέουν από συγκεκριμένες μεταβολές στις παραμέτρους του συστήματος επιφάνειας γης - ατμόσφαιρας - ήλιου. Σε αυτή την εργασία συζητείται το σκεπτικό στο οποίο στηρίχθηκε ο σχεδιασμός του μαθησιακού περιβάλλοντος, συνοψίζεται η δομή και το περιεχόμενό του και παρουσιάζονται εμπειρικά δεδομένα που έχουν προκύψει κατά την εφαρμογή του σε μια ομάδα μαθητών.

## Θεωρητικό Πλαίσιο

### *Μηχανιστικός συλλογισμός και εννοιολογική κατανόηση*

Μια βασική μαθησιακή επιδίωξη του διδακτικού υλικού περιλαμβάνει την οικοδόμηση του μηχανισμού λειτουργίας του μηχανισμού του φαινόμενου του θερμοκηπίου. Μια παραδοχή στην οποία στηρίζεται ο διδακτικός σχεδιασμός, η οποία ανακλάται σε αυτή τη μαθησιακή επιδίωξη, αφορά στην αναγνώριση του μηχανιστικού συλλογισμού ως ενός βασικού στοιχείου αναφορικά με την ανάπτυξη λειτουργικής εννοιολογικής κατανόησης. Στο μαθησιακό περιβάλλον των φυσικών επιστημών, ο μηχανιστικός συλλογισμός αναφέρεται στην ικανότητα των μαθητών να αναλύουν τη συμπεριφορά φυσικών συστημάτων. Ειδικότερα, αναφέρεται στην ικανότητα διατύπωσης μηχανιστικών ερμηνειών για τη λειτουργία συστημάτων, οι οποίες περιλαμβάνουν μια «ιστορία» που περιγράφει πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους τα διάφορα μέρη του υπό μελέτη συστήματος, ώστε να διαμορφώνεται τελικά η παρατηρούμενη συμπεριφορά του (Glennan, 1996; Ahn & Kalish, 2000). Συνεπώς, η έμφαση στις μηχανιστικές ερμηνείες βρίσκεται στο ερώτημα «πώς λειτουργεί το υπό μελέτη σύστημα και πώς προκύπτουν τα παρατηρησιακά δεδομένα που αφορούν στη λειτουργία του;» (Machamer et al., 2000).

Η ικανότητα των μαθητών να αναλύουν συστήματα με βάση το μηχανισμό λειτουργίας τους συνδέεται άμεσα με την επιδίωξη για επίτευξη εννοιολογικής κατανόησης, η οποία κατέχει κεντρική θέση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών (NRC, 2007). Συγκεκριμένα, στην προσπάθειά τους να οικοδομήσουν το μηχανισμό λειτουργίας των υπό μελέτη κλάσεων φαινομένων ή συστημάτων, μέσα από κατάλληλη στήριξη και καθοδήγηση, οι μαθητές καταλήγουν να διαμορφώνουν εννοιολογικά μοντέλα με ερμηνευτική και προβλεπτική ισχύ. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να εφαρμόζονται για την ανάλυση και την πρόβλεψη πτυχών της συμπεριφοράς παρεμφερών συστημάτων. Η τελευταία δήλωση, ενδεχομένως, αποτελεί ένα κατάλληλο ορισμό για τη λειτουργική εννοιολογική κατανόηση. Ειδικότερα, η ικανότητα των μαθητών να στηρίζονται στο μηχανισμό λειτουργίας ενός συστήματος, ώστε να διατυπώνουν με ενημερωμένο τρόπο προβλέψεις που αφορούν στη λειτουργία παρεμφερών συστημάτων αποτελεί μια αξιόπιστη ένδειξη για το βαθμό στον οποίο διαθέτουν πραγματική εννοιολογική κατανόηση (McDermott, 1991).

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι μαθητές είναι προδιατεθειμένοι να σκέφτονται μηχανιστικά κατά την ανάλυση φαινομένων και συστημάτων. Ειδικότερα, ερευνητικά δεδομένα εισηγούνται ότι στην προσπάθειά τους οι μαθητές να βρουν λύσεις σε προβλήματα ή/και να εξηγήσουν φυσικά φαινόμενα και μεταβολές προσπαθούν κυρίως να εντοπίζουν ή να προσδιορίζουν μηχανισμούς που να τα εξηγούν, ακόμη και αν αυτοί είναι λανθασμένοι (Koslowski, 1996; Kaartinen & Kumpulainen, 2002; Russ et al., 2008). Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι η ανάδειξη του μηχανιστικού συλλογισμού ως βασικού στοιχείου του μαθησιακού περιβάλλοντος των φυσικών επιστημών βρίσκεται σε συμφωνία με τις ανάγκες των μαθητών.

### **Υφιστάμενη τεχνογνωσία για τη διδασκαλία και μάθηση για το φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει λάβει εκτεταμένη προσοχή στη διεθνή βιβλιογραφία στην περιοχή της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Η έμφαση έχει εστιαστεί κυρίως στην καταγραφή των αντιλήψεων των μαθητών για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ένα σημαντικό εύρημα που έχει προκύψει αφορά στην τάση των μαθητών να συσχετίζουν ή να ταυτίζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου με την τρύπα του όζοντος (Boyes & Stanisstreet, 1993; Koulaïdis & Christidou, 1998; Österlind, 2005), θεωρώντας την αιτία της παγκόσμιας θέρμανσης λόγω της επιπλέον ακτινοβολίας που επιτρέπει να εισέλθει εντός της ατμόσφαιρας της γης (Koulaïdis & Christidou, 1998; Meira, 2006). Ένα άλλο εύρημα αναφέρεται στην τάση των μαθητών να θεωρούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου ως ένα πρόβλημα παρά ως μια χρήσιμη διεργασία που προϋποτίθεται για τη διασφάλιση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε κατάλληλα επίπεδα για την ανθρώπινη ζωή (Boyes et al., 1993; Koulaïdis & Christidou, 1998; Andersson & Wallin, 2000). Ειδικότερα, οι μαθητές τείνουν να ταυτίζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου με την παγκόσμια θέρμανση, θεωρώντας το υπεύθυνο για την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης και συναφή φαινόμενα, όπως το λιώσιμο των πάγων και η αύξηση της στάθμης της θάλασσας (Boyes & Stanisstreet, 1993, 2001; Liariakou et al., 2010). Οι μαθητές εντοπίζουν επίσης, ως κυριότερες αιτίες που προκαλούν την παγκόσμια θέρμανση και την ενίσχυση του φαινομένου, την καύση ορυκτών και τη ρύπανση του περιβάλλοντος γενικότερα και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Boyes & Stanisstreet, 1993, 2001; Hansen, 2009; Liariakou et al., 2010). Ένα πρόσθετο στοιχείο που έχει προκύψει από την έρευνα σε αυτή την περιοχή αφορά στην τάση των μαθητών να περιορίζονται συνήθως στην αναγνώριση του διοξειδίου του άνθρακα ως του βασικού αερίου που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου αγνοώντας σε μεγάλο βαθμό τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου (Boyes & Stanisstreet, 2001; Hansen, 2009; Punter et al., 2010).

Η κατανόηση των μαθητών για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου έχει λάβει αισθητά λιγότερη προσοχή στη μέχρι στιγμής έρευνα. Τα ευρήματα που έχουν προκύψει καταδεικνύουν την αδυναμία των μαθητών να διακρίνουν ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία που εκπέμπει η γη και να προσδιορίσουν με σαφήνεια το ρόλο της ατμόσφαιρας στη θερμική αλληλεπίδραση του ήλιου με τη γη (Koulaïdis & Christidou, 1999; Andersson & Wallin, 2000). Για παράδειγμα, συχνά τείνουν να αποδίδουν την αύξηση της θερμοκρασίας της γης στην ιδιότητα της ατμόσφαιρας να «εγκλωβίζει» την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται εμποδίζοντας την έτσι να φύγει από το γήινο σύστημα, αντί να αναφέρονται στην απορρόφηση της γήινης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα. Το περιεχόμενο του όρου «εγκλωβίζεται» συνήθως χρησιμοποιείται αδιευκρίνιστα, ωστόσο μια ερμηνεία που δίνεται συχνά από τους μαθητές αναφέρεται στην ιδιότητα των αερίων του θερμοκηπίου να δημιουργούν ένα στρώμα στην ατμόσφαιρα το οποίο λειτουργεί ως εμπόδιο για την ηλιακή ακτινοβολία η οποία παγιδεύεται εντός του γήινου συστήματος (Koulaïdis &

Christidou, 1999; Andersson & Wallin, 2000; Shepardson et al., 2011). Τέλος, ένα άλλο εύρημα αναφέρεται στην τάση των μαθητών να μπερδεύουν, ή να ταυτίζουν, τα διάφορα είδη ακτινοβολίας αφού συχνά χρησιμοποιούν αδιαφοροποίητα διάφορους όρους, όπως “υπέρυθρες ακτίνες”, “ηλιακές ακτίνες”, “θερμότητα” και “θερμικές ακτίνες”. Συνήθως, όλοι αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται από τους μαθητές ως αναφορά στην ηλιακή ακτινοβολία (Boyes & Stanisstreet, 1997; 1998; Koulaïdis & Christidou, 1999; Österlind, 2005).

Παρά τα ενδιαφέροντα ευρήματα που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία σε σχέση με την κατανόηση των μαθητών για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη διδακτικών επινοήσεων που να εστιάζουν στην καθοδήγηση τους, ώστε να συνθέτουν και να επεξεργάζονται το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου δεν έχει απασχολήσει επαρκώς και με ρητό τρόπο τη μέχρι στιγμής έρευνα. Στο υπόλοιπο μέρος της εργασίας συνοψίζεται η δομή του διδακτικού υλικού, προσδιορίζονται μεθοδολογικά στοιχεία αναφορικά με την εφαρμογή του και τη συλλογή εμπειρικών δεδομένων για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του και παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα από την επεξεργασία μέρους αυτών των δεδομένων.

## Μεθοδολογία της έρευνας

### Συμμετέχοντες

Η εφαρμογή του διδακτικού υλικού πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ενός καλοκαιρινού μαθητικού ομίλου φυσικής. Στη διδασκαλία συμμετείχαν 25 μαθητές Β΄ και Γ΄ Λυκείου. Οι μαθητές αυτοί είχαν ήδη εκτεθεί στη συμβατική διδασκαλία για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως υλοποιείται στην Γ΄ Γυμνασίου, η οποία περιορίζεται στην επιφανειακή περιγραφή της ιδέας ότι μέρος της ακτινοβολίας που φεύγει από τη γη συγκρατείται, με κάποιο τρόπο, από ένα στρώμα αερίων με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς ότι ο μηχανισμός όπως περιγράφεται στο βιβλίο της Γ΄ Γυμνασίου θα οδηγούσε σε συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης.

Η υλοποίηση του διδακτικού υλικού, περιλαμβανομένης της εφαρμογής των διαδικασιών αξιολόγησης, διήρκησε συνολικά πέντε διδακτικές περιόδους διάρκειας 110 λεπτών. Η διδακτική προσέγγιση που ακολουθήθηκε στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στο πρότυπο του προγράμματος *Φυσική με Διερώτηση (Physics by Inquiry)* (McDermott et al., 1996). Ειδικότερα, οι μαθητές εργάζονταν συνήθως σε διμελείς, ή σε ορισμένες περιπτώσεις τριμελείς ομάδες και καθοδηγούνταν από το διδακτικό υλικό, ώστε να υλοποιήσουν την ακολουθία δραστηριοτήτων. Σε προκαθορισμένα σημεία, κάθε ομάδα συζητούσε με τον εκπαιδευτικό πτυχές των δραστηριοτήτων που είχε ολοκληρώσει. Σε αυτές τις συζητήσεις, ο εκπαιδευτικός απέφευγε να δώσει απαντήσεις στους μαθητές. Αντίθετα, προσπαθούσε μέσα από κατάλληλες ερωτήσεις να διαμορφώσει ένα παραγωγικό πλαίσιο συζήτησης το οποίο θα μπορούσε να κατευθύνει τη περαιτέρω εξέλιξη της εργασίας των μαθητών στην ομάδα. Συγκεκριμένα, σε αυτό το πλαίσιο επιδιωκόταν να προσδιοριστούν τα σημεία συναίνεσης και διαφωνίας ανάμεσα στα μέλη της ομάδας και να αναδειχθούν περιπτώσεις ασυνέπειας στο σκεπτικό τους. Εκτός από τις συζητήσεις του εκπαιδευτικού με μεμονωμένες ομάδες, σε συγκεκριμένα σημεία πραγματοποιούνταν δομημένες συζητήσεις του εκπαιδευτικού με όλες τις ομάδες μαθητών.

### Δομή διδακτικού υλικού

Το διδακτικό υλικό είναι μέρος ενός ευρύτερου μαθησιακού περιβάλλοντος στην ηλεκτρονική πλατφόρμα ΣΤΟΧΑΣΜΟΣ. Η πλατφόρμα ΣΤΟΧΑΣΜΟΣ είναι ένα

διαδικτυακό περιβάλλον, το οποίο υποστηρίζει την αξιοποίηση αυθεντικών δεδομένων αλλά και τη δημιουργία νέων περιβαλλόντων αναστοχαστικής μάθησης από τους εκπαιδευτικούς. Το διδακτικό υλικό περιλαμβάνει επίσης πειραματικές δραστηριότητες και αντίστοιχα φύλλα εργασίας που καθοδηγούν τους μαθητές να κάνουν συγκεκριμένες παρατηρήσεις και να αναπτύξουν διάφορες ιδέες που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου τις οποίες αξιοποιούν στη συνέχεια για να οικοδομήσουν το μηχανισμό λειτουργίας του. Έτσι, η έμφαση δεν βρίσκεται στην περιγραφή του φαινομένου του θερμοκηπίου αλλά στη σταδιακή σύνθεση του μηχανισμού στον οποίο στηρίζεται η λειτουργία του. Συνοπτικά, ο μηχανισμός που επιδιώκεται να αναπτύξουν οι μαθητές στηρίζεται στην ιδέα ότι η ατμόσφαιρα της γης επιτρέπει στο μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τη διαπεράσει ενώ σε μεγάλο βαθμό είναι αδιαφανής προς την ακτινοβολία που εκπέμπει η γη, λόγω των αερίων του θερμοκηπίου που απορροφούν αυτή την ακτινοβολία και επιστρέφουν μέρος της πίσω στην επιφάνεια της γης. Με αυτό τον τρόπο, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης διατηρείται σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα συγκριτικά με τη θερμοκρασία που θα επικρατούσε εάν δεν υπήρχε το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ολόκληρο το μαθησιακό περιβάλλον αποτελείται από τρεις ενότητες. Στην εισαγωγική ενότητα παρουσιάζονται πληροφορίες για ακραία καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται στον πλανήτη. Αναμένεται από τους μαθητές να εντοπίσουν ως κύρια αιτία για αυτά τα φαινόμενα την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτό οδηγεί ακολούθως στο ερώτημα «πώς διαμορφώνεται η θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης». Η δεύτερη ενότητα έχει ως στόχο να χειριστεί αυτό το ερώτημα προωθώντας την κατανόηση των μαθητών σχετικά με το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τέλος, η τρίτη ενότητα εμπλέκει τους μαθητές σε δραστηριότητες επιχειρηματολογίας στο πλαίσιο της ευρύτερης συζήτησης αναφορικά με το κατά πόσο η παγκόσμια θέρμανση οφείλεται σε φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες. Για αυτό το σκοπό οι μαθητές επεξεργάζονται μια πλούσια συλλογή σχετικών πληροφοριών που έχουν οργανωθεί εκ των προτέρων στο διαδικτυακό μαθησιακό περιβάλλον.

Η παρούσα εργασία ασχολείται αποκλειστικά με τη δεύτερη ενότητα η οποία επιδιώκει την προώθηση της κατανόησης των μαθητών για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτή η ενότητα αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος οι μαθητές μελετούν διάφορες πληροφορίες σχετικά με τα μέρη του συστήματος που σχετίζονται με τη λειτουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, συγκεκριμένα τον ήλιο, τη γη και την ατμόσφαιρα. Αρχικά, μελετούν το φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και τα φάσματα εκπομπής του ήλιου και της γης και σε αυτό το πλαίσιο καθοδηγούνται να αντιληφθούν ότι όλα τα σώματα εκπέμπουν ακτινοβολία το είδος της οποίας διαφοροποιείται ανάλογα με τη θερμοκρασία τους. Έτσι τόσο ο ήλιος όσο και η γη εκπέμπουν ακτινοβολία αλλά σε διαφορετικά μήκη κύματος. Οι μαθητές αποκτούν μια πρώτη επαφή με τα φάσματα εκπομπής στα οποία επανέρχονται σε επόμενο στάδιο για να μελετήσουν την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος και η γη με την ατμόσφαιρα της γης. Επίσης σε αυτό το μέρος οι μαθητές μελετούν τους τρόπους διάδοσης ενέργειας με θερμότητα ενώ στο τέλος αυτού του μέρους ζητείται από τους μαθητές να κατασκευάσουν μια διαγραμματική αναπαράσταση της αλληλεπίδρασης ήλιου - γης -ατμόσφαιρας, με βάση τις πληροφορίες που έχουν μελετήσει μέχρι αυτό το σημείο. Σε αυτό το στάδιο η αναπαράσταση αναμένεται να είναι ελλιπής καθώς οι μαθητές δε θα έχουν μελετήσει ακόμη το ρόλο της ατμόσφαιρας στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας. Ωστόσο, αναμένεται να κάνουν τη διάκριση ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία που εκπέμπει η γη. Η επιδίωξη μέσα από αυτή τη δραστηριότητα είναι να διαμορφωθεί μια αρχική, αν και ελλιπής, αναπαράσταση η οποία αναθεωρείται σε επόμενο στάδιο, ώστε να καταστεί πιο πλήρης.

Στο δεύτερο μέρος η έμφαση μετατίθεται στην κατανόηση του ρόλου της ατμόσφαιρας και πιο συγκεκριμένα του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρά με την ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος και η επιφάνεια της γης. Για το σκοπό αυτό οι μαθητές μελετούν το φάσμα απορρόφησης της ατμόσφαιρας και καθοδηγούνται να το συσχετίσουν με τα φάσματα εκπομπής του ήλιου και της γης, ώστε να διαπιστώσουν ότι, σε μεγάλο βαθμό, η ατμόσφαιρα είναι διαφανής στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία αλλά αδιαφανής ως προς την ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια της γης. Στο τέλος αυτού του μέρους ζητείται από τους μαθητές να αναθεωρήσουν την αναπαράσταση που έφτιαξαν στο πρώτο μέρος, ώστε να βελτιωθεί η ικανότητά της να περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις ήλιου-γης-ατμόσφαιρας.

Στο τρίτο μέρος, οι μαθητές καθοδηγούνται ώστε να κατασκευάσουν ένα μοντέλο που αναπαριστά το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να εντοπίσουν αντιστοιχίες και αναντιστοιχίες αναφορικά με το πραγματικό φαινόμενο. Συγκεκριμένα, το μοντέλο περιλαμβάνει ένα πλαστικό δοχείο με χρώμα, η επιφάνεια του οποίου είναι καλυμμένη με μια μεμβράνη. Αυτό το δοχείο αφήνεται εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία για αρκετό χρονικό διάστημα και λαμβάνονται συστηματικά μετρήσεις της θερμοκρασίας του χρώματος. Τα δεδομένα, αντιπαραβάλλονται με τις αντίστοιχες μετρήσεις που προκύπτουν από ένα πανομοιότυπο δοχείο με ίση ποσότητα χρώματος και χωρίς οποιαδήποτε μεμβράνη στην επιφάνειά του, το οποίο τοποθετείται δίπλα από το πρώτο. Στο πλαίσιο αυτής της δραστηριότητας αναμένεται να εντοπίσουν οι μαθητές το ρόλο της πλαστικής μεμβράνης στις διαφορές στις μετρήσεις στα δύο δοχεία. Επίσης, οι μαθητές εμπλέκονται σε συζήτηση για αναντιστοιχίες ανάμεσα σε αυτό το μοντέλο και το σύστημα που επιδιώκει να αναπαραστήσει (π.χ. στη μια περίπτωση η αύξηση θερμοκρασίας οφείλεται κυρίως στην παρεμπόδιση διάδοσης θερμότητας με ρεύματα αέρα ενώ στην άλλη οφείλεται στη διαφορετική αλληλεπίδραση της ατμόσφαιρας με την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γη και τον ήλιο). Τέλος, στο καταληκτικό μέρος της ενότητας, οι μαθητές επεξεργάζονται ημι-ποσοτικά το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου, ώστε να αναδειχθούν βασικά στοιχεία του (π.χ. η ισότητα των ποσοτήτων ενέργειας που εκπέμπονται από τη γη και απορροφούνται στην επιφάνειά της).

### **Μέσα συλλογής δεδομένων**

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του διδακτικού υλικού έχουν συλλεχθεί δεδομένα μέσω έξι συνολικά έργων αξιολόγησης ανοικτού τύπου που εστίαζαν σε διάφορες ιδέες που σχετίζονται με το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα τρία από αυτά αφορούσαν σε επιμέρους πτυχές του φαινομένου· πιο συγκεκριμένα στην κατανόηση των θερμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωμάτων και της ικανότητας εκπομπής ακτινοβολίας από όλα τα σώματα. Τα υπόλοιπα έργα αξιολόγησης εστιάζονται στην κατανόηση των μαθητών για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, το ένα ζητούσε από τους μαθητές να περιγράψουν το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου, το άλλο αφορούσε στην ικανότητα διατύπωσης προβλέψεων για το πώς θα άλλαζε η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης ως αποτέλεσμα συγκεκριμένων μεταβολών σε παραμέτρους του φαινομένου του θερμοκηπίου και ένα άλλο επικεντρωνόταν στη διάκριση μεταξύ του φαινομένου του θερμοκηπίου και της παγκόσμιας θέρμανσης. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στα δεδομένα που έχουν προκύψει από τα τρία τελευταία έργα αξιολόγησης που εστιάζονται στην κατανόηση για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου. Τα έργα αξιολόγησης συμπληρώθηκαν γραπτώς από τον κάθε μαθητή πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Επίσης, έχουν συλλεχθεί δεδομένα μέσω ατομικών συνεντεύξεων με ένα τυχαία επιλεγμένο δείγμα των μαθητών (N=6, 23% πριν και N=10, 40% μετά τη διδασκαλία). Οι συνεντεύξεις στηρίχθηκαν στα γραπτά έργα αξιολόγησης και τα δεδομένα που προέκυψαν αξιοποιήθηκαν κυρίως για να παρέχουν πρόσθετη πληροφόρηση για το σκεπτικό των μαθητών. Τέλος, μια δευτερεύουσα πηγή δεδομένων που έχει

αξιοποιηθεί είναι τα φύλλα εργασίας που συμπλήρωναν οι μαθητές κατά την υλοποίηση του διδακτικού υλικού και το αναστοχαστικό ημερολόγιο που τηρούσε ο εκπαιδευτικός.

### Επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα από τις απαντήσεις των μαθητών εκτέθηκαν σε ανάλυση περιεχομένου (content analysis) (Weber 1990). Ειδικότερα, οι απαντήσεις κατέληξαν να οργανώνονται σταδιακά σε κατηγορίες, ανάλογα με το σκεπτικό στο οποίο στηρίζονταν, ώστε να αναπαρίσταται η διαφοροποίησή τους αναφορικά με την εγκυρότητα και την πληρότητά τους. Οι κατηγορίες δεν είχαν προκαθοριστεί αλλά διαμορφώθηκαν κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων και τροποποιήθηκαν σε διάφορες περιπτώσεις, ώστε να περιγράφουν όσο το δυνατό καλύτερα τα δεδομένα και τη διαφοροποίηση που υφίστανται. Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης έχουν εκτεθεί επίσης σε ποσοτική ανάλυση, ώστε να διερευνηθεί το μαθησιακό όφελος που αποκόμισαν οι μαθητές από την αλληλεπίδρασή τους με το διδακτικό υλικό. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα από την επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών σε τρία από τα έξι έργα αξιολόγησης.

## Αποτελέσματα

### Έργο αξιολόγησης I

Το πρώτο έργο αξιολόγησης ζητούσε από τους μαθητές να περιγράψουν λεκτικά το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών σε αυτό το έργο αξιολόγησης οδήγησε στη διαμόρφωση τριών κατηγοριών οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, ιεραρχημένες ανάλογα με το βαθμό πληρότητας και εγκυρότητάς τους (η πρώτη γραμμή παρουσιάζει τη λιγότερο έγκυρη κατηγορία και η τελευταία την πιο έγκυρη και πλήρη).

Η πρώτη κατηγορία, η οποία κατατάσσεται στη χαμηλότερη θέση αναφορικά με την ενημερότητά της, περιλαμβάνει τις περιπτώσεις μαθητών οι οποίοι δεν απευθύνθηκαν άμεσα στο ερώτημα. Συνήθως, περιορίζονταν στην παράθεση στοιχείων που θεωρούσαν σχετικά με το φαινόμενο χωρίς ωστόσο να επιχειρούν να περιγράψουν κάποιο μηχανισμό που να εξηγεί τη λειτουργία του. Ένα παράδειγμα απάντησης από αυτή την κατηγορία είναι το εξής: «*Η γη περιβάλλεται από μια μεμβράνη η οποία μας προστατεύει από τις ηλιακές ακτίνες. Διάφορα αέρια (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο) δημιουργήσαν μια τρύπα που επιτρέπει περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στην ατμόσφαιρα της γης προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας*». Σε αυτή την κατηγορία εντάχθηκαν έξι απαντήσεις (23%) κατά την αρχική αξιολόγηση και δύο απαντήσεις (8%) κατά την τελική αξιολόγηση. Στις μισές από τις απαντήσεις που δόθηκαν κατά την αρχική αξιολόγηση (N=3, 12%) οι μαθητές συνέδεσαν το φαινόμενο του θερμοκηπίου με αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, στα οποία απέδωσαν την καταστροφή του όζοντος και συνεπώς, την αύξηση της θερμοκρασίας.

**Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση απαντήσεων μαθητών για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου**

Κατηγορία	Αρχική αξιολόγηση		Τελική αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Δεν περιγράφεται μηχανισμός	6	23	2	8
Αόριστη αναφορά στον «εγκλωβισμό» της ηλιακής ακτινοβολίας στη γη χωρίς διάκριση μεταξύ ορατής και μη ορατής ακτινοβολίας.	20	77	8	32
Έγκυρη περιγραφή μηχανισμού λειτουργίας	0	0	15	60
<b>Σύνολο</b>	<b>26</b>	<b>100</b>	<b>25</b>	<b>100</b>

Οι απαντήσεις που εντάχθηκαν στην επόμενη κατηγορία επιχειρήσαν να συζητήσουν το ρόλο της ατμόσφαιρας αλλά περιορίστηκαν στην αόριστη και ασαφή αναφορά στη δυνατότητά της να εγκλωβίζει ακτινοβολία, κατά κύριο λόγο την ηλιακή. Φαίνεται μια τάση των μαθητών να θεωρούν την ατμόσφαιρα ή τα αέρια ως ένα στρώμα το οποίο λειτουργεί ως εμπόδιο στην ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να την παγιδεύει στο γήινο σύστημα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι μαθητές δεν εντόπιζαν την ασυμβατότητα που δημιουργείται από το γεγονός ότι η ακτινοβολία στη μια περίπτωση (είσοδος στο γήινο σύστημα) διαπερνά την ατμόσφαιρα ενώ στην άλλη περίπτωση (έξοδος από το γήινο σύστημα) παρεμποδίζεται με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό της.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μαθητές που απάντησαν με αυτό τον τρόπο δε διέκριναν ανάμεσα στην ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο και την ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτήν, όπως φαίνεται στο ακόλουθο ενδεικτικό παράδειγμα: *«Τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου δημιουργούν ένα στρώμα, το οποίο παγιδεύει ηλιακή ακτινοβολία στη γη προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας της.»* Μέσα από τις απαντήσεις τους, οι μαθητές θεωρούν ότι στη μια περίπτωση, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία δεν εμποδίζεται να φτάσει στην επιφάνεια της γης, ενώ στην άλλη περίπτωση, η εξερχόμενη ακτινοβολία, δεν μπορεί να διαφύγει χωρίς, ωστόσο, να διαφοροποιούν ρητά μεταξύ των δύο ειδών ακτινοβολίας.

Σε συμπληρωματικές συνεντεύξεις που έγιναν οι μαθητές φάνηκαν να κατανοούν την εσωτερική ασυνέπεια που υπάρχει στη δήλωσή τους (η ίδια ακτινοβολία εισέρχεται στο γήινο σύστημα ανεμπόδιστα αλλά παρεμποδίζεται κατά την έξοδό της από αυτό) αλλά δεν ήταν σε θέση να την επεξεργαστούν περαιτέρω επιλύοντας το ζήτημα που φαίνεται να προκύπτει. Κάποιοι θεωρούσαν ότι η ηλιακή ακτινοβολία που επιστρέφει έχει χάσει μέρος της «δύναμής» της ενώ ένας μαθητής ανέφερε πως ίσως η ακτινοβολία που επιστρέφει να είναι διαφορετική από την εισερχόμενη. Αυτή η κατηγορία απάντησης ήταν η επικρατέστερη κατά την αρχική αξιολόγηση (N=20, 77%) ενώ η συχνότητα εμφάνισής της μειώθηκε αρκετά μετά τη διδασκαλία (N=8, 32%).

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν έγκυρες. Συγκεκριμένα, σε αυτές τις περιπτώσεις οι μαθητές διέκριναν ρητά ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και προσδιόρισαν κάποιο μηχανισμό ο οποίος αναφερόταν στη διαφοροποίηση του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν αυτά τα δύο είδη ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα και τις συνέπειες που απορρέουν για τη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης. Για παράδειγμα, ένας από αυτούς τους μαθητές δήλωσε ότι *«Η ατμόσφαιρα αποτελείται από κάποια αέρια (CO<sub>2</sub>, μεθάνιο, υδρατμοί) τα οποία είναι διαφανή στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά αδιαφανή στην ακτινοβολία που εκπέμπει η γη. Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης ενώ η ακτινοβολία που εκπέμπει η γη απορροφάται από αυτά τα αέρια και μόνο ένα μικρό μέρος της διαφεύγει στο διάστημα. Τα αέρια εκπέμπουν ακτινοβολία πίσω στη γη διατηρώντας μια κατάλληλη θερμοκρασία.»* Είναι σημαντικό να καταγραφεί το σχετικά μεγάλο ποσοστό αυτών των απαντήσεων κατά την τελική αξιολόγηση (N=15, 60%).

Τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των απαντήσεων των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία συγκρίθηκαν αξιοποιώντας το στατιστικό έλεγχο Wilcoxon, ο οποίος κατέδειξε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ( $z=-3.95$ ,  $p<.001$ ). Λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτή η διαφοροποίηση προκύπτει ως αποτέλεσμα της μείωσης της συχνότητας εμφάνισης των δύο πρώτων κατηγοριών απάντησης και την αντίστοιχη αύξηση της συχνότητας εμφάνισης της τρίτης κατηγορίας θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι παρέχει μια θετική ένδειξη αναφορικά με την εξέλιξη στην κατανόηση των μαθητών.

## Έργο αξιολόγησης II

Σε αυτό το έργο αξιολόγησης ζητήθηκε από τους μαθητές να προσδιορίσουν πώς θα έμοιαζε η θερμοκρασία της γης αν η ατμόσφαιρα ήταν πυκνότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών. Η επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης II οδήγησε στη διαμόρφωση τριών κατηγοριών οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 (στην πρώτη γραμμή παρουσιάζεται η λιγότερο ενημερωμένη κατηγορία και στην τελευταία η πιο έγκυρη και πλήρης κατηγορία).

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους μαθητές που ουσιαστικά απέτυχαν να παρέχουν σχετική και συγκεκριμένη αιτιολόγηση που να τεκμηριώνει την πρόβλεψή τους. Αυτή η κατηγορία απάντησης εμφανίστηκε σε 13 περιπτώσεις κατά την αρχική αξιολόγηση (50%) και είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στη συντριπτική πλειοψηφία των απαντήσεων, οι μαθητές προέβλεψαν ορθά ότι θα υπάρξει αύξηση της θερμοκρασίας. Σε πέντε από αυτές τις περιπτώσεις οι μαθητές επιχείρησαν να παρέχουν κάποια αιτιολόγηση για την πρόβλεψή τους αποδίδοντας ασαφώς την αύξηση της θερμοκρασίας στη συγκέντρωση των αερίων. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα απάντησης είναι το εξής: «Πιστεύω πως η θερμοκρασία θα αυξηθεί γιατί θα αυξηθεί και η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου.» Στις υπόλοιπες περιπτώσεις απουσίαζε εντελώς οποιαδήποτε προσπάθεια αιτιολόγησης με αναφορά (έστω και ασαφή) σε παραμέτρους του συστήματος. Η συχνότητα και το ποσοστό εμφάνισης αυτής της κατηγορίας απάντησης μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό μετά την εφαρμογή του διδακτικού υλικού (N=3, 13%).

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές προσπάθησαν να αιτιολογήσουν την πρόβλεψή τους με αναφορά στο ρόλο της ατμόσφαιρας στην οποία απέδωσαν με αόριστο τρόπο τη δυνατότητα να λειτουργεί ως εμπόδιο στην ηλιακή ακτινοβολία η οποία προσπίπτει σε αυτήν είτε άμεσα είτε μετά από την ανάκλασή της στην επιφάνεια της γης. Για παράδειγμα, ένας μαθητής απάντησε ότι «η θερμοκρασία της γης θα αυξηθεί γιατί αυτά τα αέρια “παγιδεύουν” τις ηλιακές ακτίνες στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.» Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι μαθητές αυτής της κατηγορίας δεν διέκριναν ρητά ανάμεσα στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτήν. Αυτή η κατηγορία απάντησης εμφανίστηκε σε 13 περιπτώσεις κατά την αρχική αξιολόγηση (50%). Αυτό ήταν αναμενόμενο με βάση τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές κατά την αρχική αξιολόγηση στο έργο αξιολόγησης I, αφού στην περιγραφή του μηχανισμού αρκετοί μαθητές θεωρούσαν πως η ατμόσφαιρα λειτουργεί ως εμπόδιο στην ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η κατηγορία απάντησης εμφανίστηκε σε εννιά περιπτώσεις κατά την τελική αξιολόγηση (39%).

Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση απαντήσεων μαθητών

Κατηγορία	Αρχική αξιολόγηση		Τελική αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Διατύπωση πρόβλεψης χωρίς σχετική αιτιολόγηση.	13	50	3	13
Διατύπωση πρόβλεψης και αιτιολόγηση με αναφορά στο ρόλο της ατμόσφαιρας ως εμποδίου στη διάδοση ακτινοβολίας (απουσία διάκρισης ορατής - μη ορατής ακτινοβολίας).	13	50	9	39
Διατύπωση έγκυρης πρόβλεψης και αιτιολόγηση με αναφορά στην ιδιότητα της ατμόσφαιρας είτε να εμποδίζει τη διάδοση της ακτινοβολίας που εκπέμπει η γη είτε να απορροφά αυτή την ακτινοβολία, η οποία διαφοροποιείται από την ηλιακή ακτινοβολία.	0	0	11	48
<b>Σύνολο</b>	<b>26</b>	<b>100</b>	<b>23</b>	<b>100</b>

Η τρίτη κατηγορία, η οποία εμφανίστηκε μόνο στα δεδομένα από την τελική αξιολόγηση (N=11, 48%), περιλαμβάνει τους μαθητές που διατύπωσαν σωστή πρόβλεψη αιτιολογώντας την με έγκυρο τρόπο. Ειδικότερα, διέκριναν ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία που εκπέμπει η γη και αναφέρθηκαν στην ικανότητα της ατμόσφαιρας να εμποδίζει την ακτινοβολία που εκπέμπει η γη να εξέλθει από την ατμόσφαιρα, επιστρέφοντας έτσι περισσότερη θερμότητα πίσω στη γη. Για παράδειγμα, ένας μαθητής απάντησε ότι «τα αέρια του θερμοκηπίου θα απορροφούσαν περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπει η γη και επομένως θα εκπέμπουν περισσότερη ακτινοβολία πίσω στη γη προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας της γης.» Το γεγονός ότι μετά τη διδακτική παρέμβαση οι μισές σχεδόν απαντήσεις συγκαταλέγονται στην τρίτη κατηγορία παρέχει μια ένδειξη βελτίωσης της κατανόησής τους για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η σύγκριση της συχνότητας των κατηγοριών απάντησης πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, με τον έλεγχο Wilcoxon, καταδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση ( $z=-3.63$ ,  $p<.001$ ) η οποία και σε αυτή την περίπτωση αποτελεί ένδειξη εξέλιξης στην κατανόηση των μαθητών.

### Έργο αξιολόγησης III

Σε αυτό το έργο αξιολόγησης ζητήθηκε από τους μαθητές να διαβάσουν έναν υποθετικό διάλογο ανάμεσα σε δύο μαθητές και ακολούθως να δηλώσουν με ποιον από τους δύο συμφωνούν. Ο πρώτος μαθητής εξέφρασε την ακόλουθη θέση: «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα αρνητικό φαινόμενο αφού οδηγεί σταδιακά στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται αλλιώς και παγκόσμια θέρμανση». Ο δεύτερος μαθητής, με τον οποίο θα θέλαμε να συμφωνούν οι μαθητές, διαφωνούσε με τον πρώτο και τοποθετήθηκε ως εξής: «Διαφωνώ. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα χρήσιμο φαινόμενο αφού χωρίς αυτό η γη θα ήταν ένας παγωμένος πλανήτης. Παρόλο που συνδέεται με τη διαμόρφωση της θερμοκρασίας της γης δεν είναι αυτό που προκαλεί την σταδιακή αύξησή της».

Η επεξεργασία των απαντήσεων των μαθητών στο έργο αξιολόγησης III οδήγησε στη διαμόρφωση τεσσάρων κατηγοριών οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 (στην πρώτη γραμμή φαίνεται η λιγότερο ενημερωμένη κατηγορία και στην τελευταία η πιο έγκυρη και πλήρης κατηγορία).

Η πρώτη κατηγορία η οποία εμφανίστηκε μόνο κατά την αρχική αξιολόγηση αποτελείται από τέσσερις απαντήσεις (15%) οι οποίες είτε δεν απευθύνθηκαν στο ερώτημα είτε ήταν ελλιπείς.

Πίνακας 3. Κατηγοριοποίηση απαντήσεων μαθητών

Κατηγορία	Αρχική αξιολόγηση		Τελική αξιολόγηση	
	N	%	N	%
Ασχετες/ελλιπείς απαντήσεις	4	15	0	0
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα αρνητικό φαινόμενο που προκαλεί πολλά προβλήματα και ευθύνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρούμε σήμερα.	17	65	3	13
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας αλλά χωρίς αυτό η γη θα ήταν παγωμένη.	4	15	7	30
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα χρήσιμο φαινόμενο αφού χωρίς αυτό η γη θα ήταν παγωμένη. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στα αέρια που στέλνει ο άνθρωπος στην ατμόσφαιρα.	1	5	13	57
<b>Σύνολο</b>	<b>26</b>	<b>100</b>	<b>23</b>	<b>100</b>

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την πλειοψηφία των απαντήσεων των μαθητών κατά την αρχική αξιολόγηση (N=17, 65%). Οι μαθητές αυτοί επικεντρώθηκαν αποκλειστικά σε πιθανές επιπτώσεις με τις οποίες έτειναν να συνδέουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (π.χ. αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη), αγνοώντας τη λειτουργία του ως ενός χρήσιμου φυσικού φαινομένου που είναι απαραίτητο για την ύπαρξη ζωής. Χαρακτηριστικά ένας μαθητής ανέφερε ότι *«είναι αρνητικό φαινόμενο αφού αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας της γης λόγω παρεμπόδισης της εξόδου της ακτινοβολίας του ήλιου από τη γη, προκαλεί σοβαρά προβλήματα στον πλανήτη μας.»* Οι απαντήσεις των μαθητών κατά την αρχική αξιολόγηση συμφωνούν με τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών που δείχνουν πως οι μαθητές αποδίδουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου την αύξηση στη θερμοκρασία του πλανήτη ταυτίζοντας το δηλαδή με την παγκόσμια θέρμανση (Boyes et al., 1993; Koulaïdis & Christidou, 1998; Andersson & Wallin, 2000). Κατά την τελική αξιολόγηση το ποσοστό εμφάνισης αυτής της κατηγορίας μειώθηκε σε 13% (N=3).

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει τις απαντήσεις των μαθητών που απέδωσαν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου την αύξηση της θερμοκρασίας της γης, αναγνωρίζοντας ταυτόχρονα τον απαραίτητο ρόλο του στη διασφάλιση μιας κατάλληλης θερμοκρασίας στην επιφάνειά της. Για παράδειγμα, ένας μαθητής απάντησε ως εξής: *«συμφωνώ στο ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται και παγκόσμια θέρμανση αλλά είναι χρήσιμο αφού χωρίς αυτό η γη θα ήταν ένας παγωμένος πλανήτης, αλλά δεν είναι από μόνο του που προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας».* Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ακόμη και στις περιπτώσεις (τρεις κατά την αρχική και δύο κατά την τελική αξιολόγηση) όπου οι μαθητές θεώρησαν ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν αποτελεί ικανή συνθήκη για την αύξηση της θερμοκρασίας της γης, δηλώνοντας ότι προϋποτίθενται επίσης συγκεκριμένες ανθρώπινες δραστηριότητες, εξακολουθούσαν να μη διαχωρίζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου από την παγκόσμια θέρμανση. Σε αυτή την κατηγορία εντάχθηκαν τέσσερις μαθητές (15%) κατά την αρχική και επτά μαθητές (30%) κατά την τελική αξιολόγηση.

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει την πλειοψηφία των μαθητών κατά την τελική αξιολόγηση (N=13, 57%) και μόλις μία απάντηση κατά την αρχική αξιολόγηση. Σε αυτή την κατηγορία οι μαθητές ανέφεραν ρητά πως το φαινόμενο του θερμοκηπίου δεν προκαλεί την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας αλλά αντίθετα είναι ένα χρήσιμο φαινόμενο το οποίο διασφαλίζει την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Επιπρόσθετα, οκτώ από τους δεκατρείς μαθητές υπέδειξαν την αύξηση των αερίων που εκπέμπονται λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην ατμόσφαιρα ως ένα πιθανό παράγοντα που συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και όχι το φαινόμενο καθαυτό. Για παράδειγμα ένας μαθητής απάντησε ότι *«Το φαινόμενο του θερμοκηπίου δουλεύει προς όφελος της γης αφού διατηρεί τη θερμοκρασία της σταθερή και σε τιμή που μπορεί να ζήσει κάποιος. Επιπλέον, για την αύξηση της θερμοκρασίας δεν οφείλεται αυτό αλλά τα καυσαέρια που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από την ανθρώπινη δραστηριότητα».*

## Συζήτηση

Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό την ανάπτυξη και ερευνητική επικύρωση διδακτικού υλικού με σκοπό την προώθηση της κατανόησης μαθητών λυκείου αναφορικά με το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το μεγαλύτερο μέρος του διδακτικού υλικού αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τη διαδικτυακή πλατφόρμα ΣΤΟΧΑΣΜΟΣ ως μέρος ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος που αφορά στις κλιματικές αλλαγές. Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί κατά την αρχική αξιολόγηση, πριν από την εφαρμογή του διδακτικού υλικού, συνάδουν με τα ευρήματα που αναφέρονται στη σχετική διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, καταδεικνύουν την τάση των μαθητών να

ταυτίζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου με την παγκόσμια θέρμανση, θεωρώντας το υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται και την αδυναμία τους να προσδιορίσουν το μηχανισμό στον οποίο στηρίζεται η λειτουργία του (Boyes & Stanisstreet, 1993; 2001; Liariakou et al., 2010). Η πλειοψηφία των μαθητών αποδίδει κάποιο ρόλο στην ατμόσφαιρα θεωρώντας πως παγιδεύει ή εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία στη γη και δεν κάνει καμιά διάκριση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της ακτινοβολίας την οποία εκπέμπει η γη (Koulaidis & Christidou, 1999; Andersson & Wallin, 2000). Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες είχαν ήδη εκτεθεί στη συμβατική διδασκαλία για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου, τα δεδομένα από την αρχική αξιολόγηση συνάδουν με τον ισχυρισμό που διατυπώθηκε στο εισαγωγικό μέρος της εργασίας αναφορικά με την αδυναμία του παραδοσιακού διδακτικού προτύπου να προωθήσει αποτελεσματικά την εννοιολογική κατανόηση.

Τα αντίστοιχα δεδομένα που έχουν προκύψει κατά την τελική αξιολόγηση παρέχουν ενθαρρυντικές ενδείξεις που καταδεικνύουν τη δυνατότητα του διδακτικού υλικού που έχει σχεδιαστεί, να προωθεί αποτελεσματικά την κατανόηση των μαθητών για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ειδικότερα, η ικανότητα που επέδειξαν οι περισσότεροι μαθητές να εφαρμόζουν αυτό το μηχανισμό στο ανοίκειο σενάριο που τους δόθηκε (έργο αξιολόγησης II) για να διατυπώσουν σχετικές προβλέψεις αποτελεί μια αξιόπιστη ένδειξη πραγματικής και λειτουργικής εννοιολογικής κατανόησης.

Μια πτυχή της σύγκρισης του συμβατικού προτύπου για τη διδασκαλία του φαινομένου του θερμοκηπίου και της παρούσας διδακτικής πρότασης αφορά στις χρονικές τους απαιτήσεις. Προφανώς, η εφαρμογή του προτεινόμενου διδακτικού υλικού ξεπερνά κατά πολύ το χρόνο που διατίθεται στο συμβατικό πρότυπο διδασκαλίας για τη διδασκαλία της οποιασδήποτε έννοιας και αυτό θέτει ένα ζήτημα για την καταλληλότητά του. Η θέση που φαίνεται να διαμορφώνεται στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία σε σχέση με αυτό το ζήτημα, η οποία υποστηρίζει τον προσανατολισμό της διδακτικής μας πρότασης, προτείνει τον περιορισμό της διδακτέας ύλης σε κεντρικές έννοιες αυξάνοντας ταυτόχρονα το βάθος της επεξεργασίας τους (NRC, 2007). Αυτό αναμένεται ότι αυξάνει την πιθανότητα να αναπτύξουν οι μαθητές λειτουργική εννοιολογική κατανόηση, ενώ, ταυτόχρονα, παρέχει τη δυνατότητα για παράλληλη προώθηση πρόσθετων βασικών επιδιώξεων της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, όπως η κατανόηση για τη φύση της επιστήμης και η καλλιέργεια δεξιοτήτων συλλογισμού (π.χ. μηχανιστικός συλλογισμός).

Παρά τις ενθαρρυντικές ενδείξεις που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των δεδομένων, υπάρχουν επίσης ενδείξεις για πτυχές του διδακτικού σχεδιασμού που δεν λειτούργησαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά και θα ήταν χρήσιμο να εκτεθούν σε διαδικασία αναθεώρησης. Σε αυτό το στάδιο, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα τυχάνουν περαιτέρω επεξεργασίας, ώστε να εντοπιστούν και να τεκμηριωθούν συγκεκριμένες πτυχές της ακολουθίας δραστηριοτήτων που θα ήταν χρήσιμο να τροποποιηθούν και ακολούθως να υλοποιηθούν σχετικές βελτιωτικές ρυθμίσεις.

## Αναφορές

- Ahn, W., & Kalish, C. W. (2000). The role of mechanism beliefs in causal reasoning. In F. C. Keil & R. A. Wilson (eds.), *Explanation and Cognition* (pp. 199-226). Cambridge, MA: MIT Press.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students' understanding of the Greenhouse Effect: Societal Consequences of reducing CO<sub>2</sub> emissions and why ozone layer depletion is a problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1096-1111.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1993). The "Greenhouse Effect": Children's perceptions of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education*, 15, 531-552.

- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1997). Children's models of understanding of two major global environmental issues (ozone layer and greenhouse effect). *Research in Science and Technological Education*, 15(1), 19-28.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2001). Plus ça change, plus c'est la même chose? School students' ideas about the "greenhouse effect" a decade on. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6, 77-101.
- Glennan, S.S. (1996). Mechanisms and the nature of causation. *Erkenntnis*, 44, 49-71.
- Hansen, P. J. K. (2009). Knowledge about the Greenhouse Effect and the effects of the ozone layer among Norwegian pupils finishing compulsory education in 1989, 1993, and 2005 what now?. *International Journal of Science Education*, 32(3), 397-419.
- Kaartinen, S., & Kumpulainen, K. (2002). Collaborative inquiry and the construction of explanations in the learning of science. *Learning and Instruction*, 12, 189-212.
- Kesidou, S., & Roseman, J. L. (2002). How well do middle school science programs measure up? Findings from Project 2061's curriculum review. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 522-549.
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), 559-576.
- Liarakou, G., Athanasiadis, I., & Gavrilakis, C. (2010) What Greek secondary school students believe about climate change?. *International Journal of Environmental and Science Education* 6(1), 79-98.
- Machamer, P., Darden, D., & Craver, C. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science*, 67, 1-25.
- McDermott, L. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned-Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59, 301-315.
- McDermott, L. and the Physics Education Group at the University of Washington (1996). *Physics by Inquiry*. New York, USA: Wiley.
- Meira, P. A. (2006). People's ideas about climate change. *Ciclos*, 18, 5-12
- NRC (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academy Press.
- Österlind, K. (2005). Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. *International Journal of Science Education*, 27(8), 891- 908.
- Punter, P., Ochando-Pardo, M., & Garcia, J. (2010). Spanish secondary school students' notions on the causes and consequences of climate change. *International Journal of Science Education*, 33 (3), 447-464.
- Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92(3), 499- 525.
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2011). Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. *Climatic Change*, 104 (3-4), 481-507.
- Weber, R. P. (1990). *Basic content analysis*. Newbury Park, CA: Sage Publications (2nd ed.).

Αναφορά στο άρθρο ως: Αβραάμ, Χ., Παπαδούρης, Ν. (2012). Ανάπτυξη και αξιολόγηση διδακτικού υλικού για προώθηση της κατανόησης μαθητών λυκείου για το μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 127-139.

<http://earthlab.uoi.gr/thete/index.php/thete>