

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Κόμης Βασίλης
Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Πατρών
Ράπτης Αριστοτέλης
Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πολίτης Παναγιώτης
Λέκτορας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Αγγελική Δημητρακοπούλου
Αναπληρωτής Καθηγήτρια
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Εισαγωγή του επιμελητή

Η μοντελοποίηση είναι χρήσιμη και απαραίτητη, προκειμένου να περιγραφούν αρχικά και να μελετηθούν στη συνέχεια πολύπλοκες καταστάσεις ή διαδικασίες που χρειάζεται να κατανοήσουμε σε βάθος. Το μοντέλο είναι σαν τον χάρτη: αναπαριστά επιλεγμένα στοιχεία μιας περιοχής με δεδομένο κανένας χάρτης ή μοντέλο δεν μπορούν να είναι εντελώς περιεκτικά. Με τη αφοριστική διατύπωση του A. Korzybski :

«Ο χάρτης δεν είναι το έδαφος ...

Ένας χάρτης δεν θα μπορούσε να απεικονίζει το σύνολο ενός εδάφους ...

Ένας χάρτης είναι παράδοξα αυτοαναφορικός με την έννοια πως ένας ιδανικός χάρτης θα έπρεπε να εμπεριέχει έναν χάρτη για τον ίδιο το χάρτη κ.ο.κ , επ' άπειρον ... ».

Αυτό σημαίνει πως πρέπει να υπάρχει σκόπιμη και εκούσια επιλογή ενός «χάρτη» (μοντέλου), πρέπει να γνωρίζουμε με σαφήνεια γιατί τον επιλέξαμε και τι περιμένουμε από αυτόν. Το πρόβλημα με τα μοντέλα είναι ότι συνήθως οι σκοποί τους δεν είναι τόσο καλά δηλωμένοι. Στην πραγματικότητα ορισμένοι επιδιώκουν από αυτά τόση περιεκτικότητα που από τη φύση τους δεν είναι δυνατή.

Η αξία όμως ενός μοντέλου έγκειται κυρίως στο ότι:

- Προβάλλει συστηματικά επιλεγμένα στοιχεία του αντικειμένου του.
- Καταδεικνύει επιλεγμένες σχέσεις ανάμεσα σε αυτά τα στοιχεία.
- Το σύστημα που διαγράφεται πίσω από τα παραπάνω επιλεγμένα στοιχεία, προσδιορίζει και περιγράφει το αντικείμενο που μοντελοποιείται.

Ο κίνδυνος βέβαια που δημιουργείται είναι πως συχνά το μοντέλο καταλαμβάνει στη συνείδηση των ανθρώπων που το εφαρμόζουν τη θέση της πραγματικότητας, και με αυτή τη λογική, υπέρτατο κριτήριο της αξίας ενός μοντέλου δεν μπορεί παρά να είναι η προσέγγιση ή ανταπόκρισή του στην «πραγματικότητα» (όπως συμφωνούμε να την ορίζουμε σε κάθε περίπτωση).

Στο Κεφάλαιο 4 αντιμετωπίζονται γενικότερα ζητήματα που σχετίζονται με:

- Την υποστήριξη της ανθρώπινης μάθησης μέσα από τη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού μοντελοποίησης.
- Την κατηγοριοποίηση του εκπαιδευτικού λογισμικού σε σχέση με τις βασικές ψυχολογικές θεωρίες για τη μάθηση.
- Τις ψυχοπαιδαγωγικές διαστάσεις που αναδύονται μέσα από τη χρήση των μοντέλων και κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης.
- Τις επιστημολογικές προεκτάσεις που έχει η διαδικασία της μοντελοποίησης.
- Την παρουσίαση και την ανάλυση των διαφορετικών κατηγοριών για τα λογισμικά μοντελοποίησης που έχουμε σήμερα στη διάθεσή μας.

Το εκπαιδευτικό λογισμικό μοντελοποίησης στη Διδακτική των Θετικών Επιστημών

Κόμης Βασίλης

Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών

Ράπτης Αριστοτέλης

Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Πολίτης Παναγιώτης

Τίτλος του?????? Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Αγγελική Δημητρακοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

1. Εκπαιδευτικό λογισμικό: εναλλακτικές προσεγγίσεις

Η εξέλιξη της εισαγωγής και της ένταξης των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στην εκπαίδευση έχει γνωρίσει αρκετές διακυμάνσεις και είναι στενά συνυφασμένη τόσο με την ανάπτυξη του υλικού και του λογισμικού όσο και με την εξέλιξη των διαφόρων ψυχολογικών προσεγγίσεων για τη διδασκαλία και τη μάθηση. Όλες εντούτοις οι προσεγγίσεις συμφωνούν στον ένα ή τον άλλο βαθμό ότι η παιδαγωγική πληροφορική συνιστά το σημείο συνάντησης μιας ψυχολογικής πραγματικότητας (ένα υποκείμενο που μαθαίνει), ενός θεσμικού περιβάλλοντος (το σχολείο για παράδειγμα) και μιας τεχνολογικής πραγματικότητας (ο υπολογιστής, οι γλώσσες προγραμματισμού και άλλα είδη λογισμικού) διαμέσου ενός περιεχομένου που πρέπει να προσκτηθεί (οι γνώσεις) (Mendelsohn, 1992).

Η ιδέα της διδακτικής και της παιδαγωγικής χρήσης των υπολογιστών εμφανίστηκε λίγο μετά την κατασκευή των πρώτων υπολογιστών και καταρχήν εντάχθηκε στο ρεύμα της προγραμματισμένης διδασκαλίας και της ψυχολογικής σχολής της συμπεριφοράς (behaviorism). Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην ιδέα της *μετάδοσης της γνώσης* σύμφωνα με την οποία η μάθηση συνιστά επαγωγική διαδικασία μιας ζητούμενης συμπεριφοράς στη βάση του προτύπου «ερέθισμα-απάντηση». Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκαν αφενός τα συστήματα απλής εξάσκησης και πρακτικής (drill and practice) που στοχεύουν στην άσκηση του μαθητή στην ανάπτυξη ειδικών, συνήθως αρκετά περιορισμένων, γνώσεων και δεξιοτήτων και αφετέρου τα συστήματα καθοδήγησης και διδασκαλίας (tutorials), τα οποία, σε αντίθεση με τα συστήματα απλής εξάσκησης και πρακτικής, περιλαμβάνουν διδακτικό υλικό πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα, αναλαμβάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο, μερικώς ή εξολοκλήρου, τον ρόλο του εκπαιδευτικού (πίνακας 1).

Η κλασική αυτή αντίληψη για τη χρησιμοποίηση του υπολογιστή στην εκπαιδευτική πράξη πολύ γρήγορα αποτέλεσε αντικείμενο έντονων κριτικών που προέρχονται από τα ψυχολογικά ρεύματα με εποικοδομιστικές (βασικοί θεωρητικοί εκπρόσωποι είναι ο Piaget και ο Papert) και κοινωνικοπολιτισμικές παραδόσεις (με κύριους εκπροσώπους τον Vygotsky και τον Bruner), από τις παιδαγωγικές θέσεις του Dewey και από τις σύγχρονες αντιλήψεις της γνωστικής επιστήμης και της διδακτικής των επιστημών. Υπό το πρίσμα των εποικοδομιστικών προσεγγίσεων, έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί σημαντικές εκπαιδευτικές εφαρμογές κάνοντας χρήση των τεχνολογιών της πληροφορίας και των επικοινωνιών (πίνακας 1) που προωθούν τη διερεύνηση, την ανακάλυψη και την προσωπική οικοδόμηση της γνώσης. Σε αντίθεση με τα περιβάλλοντα της προηγούμενης κατηγορίας, που επικεντρώνονται κυρίως στον εκπαιδευτικό και στη μετάδοση της πληροφορίας, τα περιβάλλοντα που ακολουθούν αυτή την κατεύθυνση εστιάζουν την προσοχή τους στην πλευρά του μαθητή και στους τρόπους με τους οποίους οικοδομεί (ενίοτε στο πλαίσιο της αλληλεπίδρασης με τους άλλους μαθητές) τις γνώσεις του.

Σε αντίθεση όμως με το εποικοδομιστικό μοντέλο, όπου η γνώση είναι κατά κύριο λόγο μια ατομική διαδικασία οικοδόμησης νοημάτων, στις κοινωνικοπολιτισμικές προσεγγίσεις η μαθησιακή δραστη-

<p>Συστήματα Μάθησης μέσω Ανακάλυψης, Διερεύνησης και Οικοδόμησης (Θεωρίες του εποικοδομησμού και του κοινωνικού εποικοδομησμού)</p> <p>Εφαρμογές Υπερμέσων Εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας Συστήματα Οπτικοποίησης Συστήματα Εννοιολογικής Χαρτογράφησης Εφαρμογές Προσομοίωσης Εφαρμογές Μοντελοποίησης Εργαστήρια Βασισμένα σε Υπολογιστή Συσκευές Σύνδεσης με το Περιβάλλον Συστήματα Ρομποτικής (τύπου Lego) Μικρόκοσμοι Προγραμματιστικά Περιβάλλοντα (τύπου Logo)</p>	<p>Συστήματα Καθοδήγησης και Διδασκαλίας (Θεωρίες του Συμπεριφορισμού)</p> <p>Λογισμικό Εξάσκησης και Πρακτικής Λογισμικό Καθοδήγησης ή Διδασκαλίας Εκπαιδευτικά παιχνίδια Λογισμικό Πολυμέσων Έμπειρα Διδακτικά Συστήματα (θεωρία επεξεργασίας της πληροφορίας)</p> <hr/> <p>Συστήματα Έκφρασης, Αναζήτησης και Επικοινωνίας της Πληροφορίας (Κοινωνικοπολιτισμικές Θεωρίες)</p> <p>Εφαρμογές Διαδικτύου Εργαλεία Διαδικτύου για Συνεργασία και Επικοινωνία Ψηφιακές Εγκυκλοπαίδειες & Λεξικά Λογισμικό Γενικής Χρήσης (εφαρμογές γραφείου, κ.λπ.)</p>
---	---

Πίνακας 1: Κατηγορίες και υποκατηγορίες εκπαιδευτικού λογισμικού και ψυχολογικές θεωρίες

ριότητα είναι πλήρως ενταγμένη στο κοινωνικό, ιστορικό και πολιτισμικό πλαίσιο μέσα στο οποίο διαδραματίζεται. Οι γνωστικές διεργασίες δεν νοούνται συνεπώς ως αυτόνομες οντότητες αλλά συστατικά ενός οργανωμένου όλου, του νου, ο οποίος λειτουργεί και αναπτύσσεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικοπολιτισμικό περιβάλλον, ιστορικά προσδιορισμένο. Κάτω από το πρίσμα αυτό, οι *συνεργατικές δραστηριότητες* συντελούν καταλυτικά στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης ενώ επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία (υλικά και συμβολικά) και ο καταμερισμός εργασίας όπως περιγράφει η θεωρία της δραστηριότητας (activity theory).

Οι δύο παραπάνω προβληματικές φαίνεται να συνιστούν σήμερα τα κυρίαρχα μοντέλα στο σχεδιασμό εκπαιδευτικών λογισμικών. Βασικός στόχος τέτοιων εκπαιδευτικών λογισμικών είναι να παρέχουν

αυθεντικές μαθησιακές δραστηριότητες ενταγμένες σε διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων από τον πραγματικό κόσμο ώστε να γεφυρώνεται το χάσμα που υπάρχει ανάμεσα στο σχολείο και στις δραστηριότητες έξω από το σχολείο. Πρέπει επίσης να ενθαρρύνουν την έκφραση και την προσωπική εμπλοκή στη μαθησιακή διαδικασία, και παράλληλα, πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους το γεγονός ότι το κοινωνικό πλαίσιο και η κοινωνική αλληλεπίδραση ευνοούν τις γνωστικές κατασκευές (αρχή που εκφράζεται κυρίως στο πλαίσιο της κοινωνικοπολιτισμικής προσέγγισης).

Στη συνέχεια της εργασίας αυτής παρουσιάζεται μια προσέγγιση που έχει ως στόχο την υποστήριξη της ανθρώπινης μάθησης, κατά κύριο λόγο στο χώρο των θετικών επιστημών, με τη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού μοντελοποίησης. Η προσέγγιση αυτή εμπνέεται τόσο από το μοντέλο της προσωπικής οικοδόμησης της γνώσης όσο και από το μοντέλο της συνεργασίας.

2. Μοντέλο και μοντελοποίηση: ψυχοπαιδαγωγικές διαστάσεις

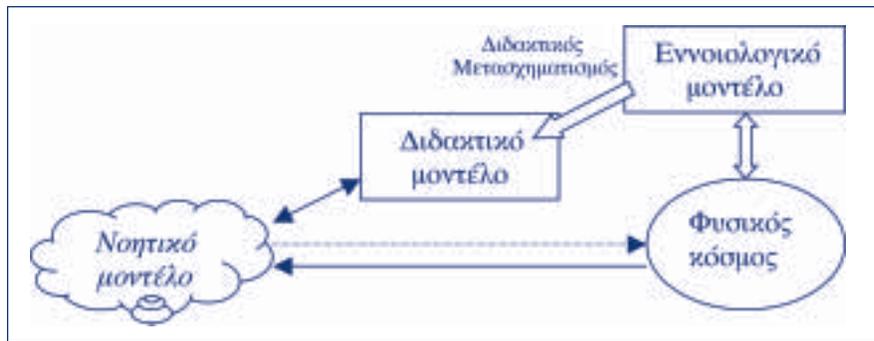
Οι έρευνες στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών εστιάζουν, μεταξύ άλλων, το ενδιαφέρον τους στη διερεύνηση των νοητικών μοντέλων των μαθητών, στην προοπτική της κατανόησής τους ως επιστημολογικά εμπόδια και ως επεξηγηματικά συστήματα του πραγματικού κόσμου (Astolfi & Develay, 1989, Σταυρίδου, 1994, Ραβάνης, 1999). Κάτω από το πρίσμα αυτό αναζητούν τόσο την προέλευση των νοητικών μοντέλων και τον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται, όσο και τις μεθόδους και τις τεχνικές οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στο μετασχηματισμό τους. Παράλληλα, οι σύγχρονες προσεγγίσεις στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και στη Διδακτική των Μαθηματικών υποστηρίζουν ότι οι μαθητές πρέπει να εμπλέκονται σε δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων καθημερινής ζωής, καθώς και σε δραστηριότητες μοντελοποίησης, αναγνωρίζοντας σε αυτές τα πλεονεκτήματα της διεπιστημονικής προσέγγισης στη επιστημονική γνώση και της χρήσης μεθόδων και πρακτικών που είναι ανάλογες με αυτές της αυθεντικής επιστημονικής δραστηριότητας. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη δεξιοτήτων μοντελοποίησης αποτελεί σημαντικό άξονα έρευνας στις παιδαγωγικές επιστήμες και στη διδακτική.

2.1 Φυσικά και συμβολικά μοντέλα

Τα ανθρώπινα όντα στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τον κόσμο, να ερμηνεύσουν τα διάφορα φαινόμενα, να κάνουν προβλέψεις για τη συμπεριφορά διαφόρων συστημάτων αλλά και για να ενεργήσουν πάνω σε αυτά, επιστρατεύουν τις συμβολικές, παραστατικές και δημιουργικές τους ικανότητες δημιουργώντας πραγματικά ή συμβολικά κατασκευάσματα που μιμούνται ή αναπαριστούν –σε μια ιδεατή μορφή– στοιχεία ή πτυχές της πραγματικότητας (Ράπτης & Ράπτη, 2002, Κόμης & Ράπτης, 2002). Τα κατασκευάσματα αυτά ονομάζονται μοντέλα και μπορούν να έχουν –σε επίπεδο δομής– αναλογικές και τοπολογικές ομοιότητες (φυσικά μοντέλα δύο ή τριών διαστάσεων ή ομοιώματα) ή να συνιστούν συμβολικές κατασκευές που δεν σχετίζονται φαινομενολογικά με το προς αναπαράσταση σύστημα (Κουλαϊδής, 1994, Βοσνιάδου, 1998). Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει το καθεστώς εγκυρότητάς τους αναφερόμαστε σε νοητικά μοντέλα και εννοιολογικά μοντέλα (Gentner & Stevens, 1983).

2.2 Νοητικά και εννοιολογικά μοντέλα

Όταν οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον αναπτύσσουν ερμηνευτικές αναπαραστάσεις που καθοδηγούν την απόδοση της συμπεριφοράς τους. Σύμφωνα με τη γνωστική ψυχολογία (Βοσνιάδου, 1998), η αλληλεπίδραση με τον κόσμο (τους άλλους ανθρώπους, το περιβάλλον, τα τεχνολογικά εργαλεία) προϋποθέτει την κατασκευή *νοητικών μοντέλων* τα οποία στη συνέχεια παρέχουν ένα πλαίσιο με προβλεπτική και επεξηγηματική ισχύ για την κατανόηση αυτής της αλληλεπίδρασης. Τα νοητικά μοντέλα δημιουργούνται από τους ανθρώπους και απαιτούν ένα *σύστημα – στόχο* ή ένα *φαινόμενο*, ενώ συνήθως δεν ταυτίζονται με το *εννοιολογικό μοντέλο* αυτού του συστήματος (Norman, 1983). Το *εννοιολογικό μοντέλο* είναι μια ανακάλυψη των επιστημόνων, των μηχανικών ή των εκπαιδευτικών που προσφέρει μια κατάλληλη αναπαράσταση του συστήματος που αναπαριστά υπό την έννοια ότι είναι ορθό, συνεπές και πλήρες. Τα εννοιολογικά μοντέλα που κατασκευάζονται από τους επιστήμονες αποκαλούνται και *επιστημονικά μοντέλα*, ενώ τα εννοιολογικά μοντέλα που κατασκευάζονται από τους εκπαιδευτικούς ή τους δημιουργούς προγραμμαμάτων σπουδών και σχολικών εγχειριδίων



Σχήμα 1: Συγκρότηση νοητικών, εννοιολογικών και διδακτικών μοντέλων

ων ονομάζονται *διδακτικά μοντέλα*. Τα διδακτικά μοντέλα προκύπτουν κατά κανόνα μέσω διαδικασιών διδακτικού μετασχηματισμού των επιστημονικών μοντέλων και θεωριών (σχήμα 1).

Στη σύγχρονη διδακτική των επιστημών, η γνώση των νοητικών μοντέλων των μαθητών φαίνεται να είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των γνωστικών τους δομών. Τα νοητικά μοντέλα στο πλαίσιο μιας δομητιστικής προσέγγισης θεωρούνται ατομικές κατασκευές, οι οποίες προκύπτουν μέσω της αλληλεπίδρασης με τους άλλους και την πραγματικότητα (Doise & Mugny, 1981) ενώ στο πλαίσιο μιας κοινωνικο-πολιτισμικής προσέγγισης ως συλλογικά κατασκευάσματα, προϊόν της εσωτερίκευσης κοινωνικών διεργασιών και αλληλεπιδράσεων (Vygotsky, 1962). Τα εννοιολογικά μοντέλα είναι κοινωνικές κατασκευές που συνδέονται στενά με την ανάπτυξη της επιστήμης και της επιστημονικής σκέψης. Ως δημιουργίες επιστημονικών θεωριών, έχουν παραδειγματική ισχύ (σύμφωνα με τις απόψεις του Kuhn) και εξελίσσονται ή διαψεύδονται μέσα στην ανθρώπινη ιστορία και τον πολιτισμό.

Τα νοητικά μοντέλα έχουν μια σειρά από χαρακτηριστικά, η κατανόηση των οποίων είναι απαραίτητη για την αξιοποίησή τους σε μαθησιακές και επιστημονικές δραστηριότητες. Αφενός, είναι ατελή και ασταθή με δυσδιάκριτα όρια εφαρμογής, αφετέρου, η επιστημονική εγκυρότητά τους είναι σε μεγάλο βαθμό αμφισβητήσιμη, ενώ ο χώρος εφαρμογής τους είναι συνήθως περιορισμένος (Norman, 1983).

Σύμφωνα με τον Hestenes (Hestenes, 1996) ένα μοντέλο είναι η αναπαράσταση της δομής ενός φυσικού συστήματος και των ιδιοτή-

των του. Κατά κανόνα περιγράφει τέσσερις τύπους δομής ο καθένας εκ των οποίων έχει τα δικά του εσωτερικά και εξωτερικά συστατικά. (Α). Συστημική δομή: σύνθεση (εσωτερικά τμήματα του συστήματος), περιβάλλον (εξωτερικά τμήματα που συνδέονται με το σύστημα), συνδέσεις (εξωτερικοί και εσωτερικοί αιτιακοί σύνδεσμοι). (Β). Γεωμετρική δομή (θέση και διάταξη). (Γ). Χρονική δομή (προσδιορισμός της αλλαγής της κατάστασης των μεταβλητών). (Δ). Δομή αλληλεπίδρασης (κανόνες αλληλεπίδρασης).

Ένα μοντέλο συνιστά μια αναπαράσταση ενός προβλήματος, μιας διαδικασίας, μιας ιδέας ή ενός συστήματος και δεν είναι ποτέ ένα ακριβές αντίγραφο αλλά αναπαριστά κάποια ή κάποιες πτυχές της δομής, των ιδιοτήτων ή της συμπεριφοράς αυτού που είναι το μοντέλο. Ένα μοντέλο παίρνει διάφορες μορφές όπως διαγράμματα, μαθηματικούς τύπους, φυσικές κατασκευές ή σύνολο από λογικές καταστάσεις. Σκοπός του μοντέλου είναι να προσομοιώσει με όσο γίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια τις ουσιαστικές πτυχές ενός συγκεκριμένου χώρου της πραγματικότητας.

Τα μοντέλα έχουν συνεπώς λειτουργίες *επεξηγηματικές και αναπαραστασιακές* καθώς και λειτουργίες *πρόβλεψης*. Για τον επιστήμονα, το έργο της μοντελοποίησης συνίσταται στο να βρει μια σειρά από παραμέτρους και καταστάσεις που του επιτρέπουν να εξηγήσει τα φαινόμενα που μελετά. Επιπρόσθετα, ένα μοντέλο είναι ένα νέο αντικείμενο (συγκεκριμένο ή συμβολικό) που δημιουργείται κατά κανόνα για να αναπαραστήσει ένα αντικείμενο που δεν είναι άμεσα προσβάσιμο. Η μοντελοποίηση συνίσταται στην οικοδόμηση ερμηνειών που έχουν κατά κάποιο τρόπο αυτόνομη λειτουργία με στόχο την πρόβλεψη μιας εξελικτικής διαδικασίας και τη μεταβολή ενός συστήματος χωρίς να υπάρχει ανάγκη να παρατηρείται άμεσα η πραγματικότητα.

2.3 Επιστημολογικές προεκτάσεις της μοντελοποίησης

Ποιες είναι οι επιστημολογικές προεκτάσεις της μοντελοποίησης; Η επιστημονική δραστηριότητα συνίσταται σε μεγάλο βαθμό στη δημιουργία εννοιολογικών μοντέλων των φαινομένων (χρησιμοποιώντας διάφορους φορμαλισμούς κατά κανόνα μαθηματικής υφής) και των αντικειμένων τα οποία μελετά. Τα μοντέλα αυτά μπορεί να είναι αναλυτικά (όπως στη φυσική με τα μαθηματικά μοντέλα) ή να

παρέχουν μια απλή και πρακτική αναπαράσταση (όπως στη βιολογία με τη χρήση εικόνων και μεταφορών από την καθημερινή ζωή).

Με άλλα λόγια, η επιστημονική πρακτική εμπερικλείει την οικοδόμηση, την εγκυροποίηση και την εφαρμογή επιστημονικών μοντέλων, ενώ η επιστημονική κατανόηση αναδύεται από τη δημιουργία και τη χρήση μοντέλων, δηλαδή από τη μοντελοποίηση (Hestenes, 1992). Τα μοντέλα είναι σημαντικά στην επιστημονική έρευνα αφού χρησιμεύουν για τη διατύπωση υποθέσεων που πρέπει να ελεγχθούν και για την περιγραφή επιστημονικών φαινομένων. Συνακόλουθα, η διδασκαλία των επιστημών οφείλει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμπλέκει τους μαθητές στο σχεδιασμό και στη χρήση μοντέλων. Το μοντέλο στις φυσικές επιστήμες είναι μια αναπαράσταση της δομής ενός φυσικού συστήματος και των ιδιοτήτων του.

Η μοντελοποίηση εκτός από κύριο συστατικό της ανθρώπινης δραστηριότητας συνιστά βασικό μεθοδολογικό εργαλείο στις επιστήμες και στην επιστημονική έρευνα ενώ παράλληλα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της μαθησιακής δραστηριότητας. Η ανάπτυξη μοντέλων παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού τους (και όχι χειρισμού των ίδιων των αντικειμένων), και επιτρέπει τη δυνατότητα υπολογισμών, την ανακάλυψη νέων σχέσεων, την οικοδόμηση νέων γνωστικών σχημάτων, την κατάκτηση νέων βεβαιοτήτων αλλά και την ανατροπή κάποιων άλλων (Bliss, 1994). Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες και περισσότερα εκπαιδευτικά συστήματα εντάσσουν στην προβληματική τους δραστηριότητες μοντελοποίησης και την ολοκληρωμένη προσέγγιση διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων που προσφέρουν αυτές οι δραστηριότητες.

2.4 Μοντέλο και μοντελοποίηση στη διδασκαλία και τη μάθηση

Οι διαδικασίες μοντελοποίησης συντελούν ουσιαστικά στη βαθύτερη κατανόηση των προς μελέτη φαινομένων και για το λόγο αυτό θεωρούνται ως ουσιαστικές διδακτικές και μαθησιακές δραστηριότητες σε όλο σχεδόν το φάσμα των γνωστικών αντικειμένων. Κάτω από ποιες προϋποθέσεις μπορούμε να αξιοποιήσουμε τα μοντέλα και τη διαδικασία μοντελοποίησης στη διδασκαλία και τη μάθηση και ειδικότερα στη μάθηση των θετικών επιστημών; Οι σύγχρονες διδακτικές θεωρήσεις (κυρίως στο χώρο της διδακτικής των φυσι-

κών επιστημών) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές πρέπει να εμπλέκονται σε δραστηριότητες μοντελοποίησης αναγνωρίζοντας σε αυτές τα πλεονεκτήματα της διεπιστημονικής προσέγγισης και της χρήσης μεθόδων και πρακτικών που μοιάζουν με τις αυθεντικές επιστημονικές δραστηριότητες (Weil-Barais, 1994, Gilbert & Boulter 2000). Υπό το πρίσμα αυτό, το ζητούμενο της μάθησης δεν περιορίζεται μόνο στην πρόσκτηση αυτού καθαυτού του μοντέλου (είτε πρόκειται για επιστημονικό είτε για διδακτικό μοντέλο) αλλά επεκτείνεται και στην ανάπτυξη όλων εκείνων των γνωστικών εργαλείων που επιτρέπουν τις πρακτικές της μοντελοποίησης (Ραβάνης, 1999). Η προσέγγιση που βοηθά τους μαθητές να εκφράζουν και να σκέφτονται με όρους μοντέλων και όχι με μαθηματικά σύμβολα ή γλωσσικές εκφράσεις φαίνεται ότι ενισχύουν την κατανόησή τους και όχι τη στείρα απομνημόνευση (Βοσνιάδου, 1998).

Είναι επίσης σημαντικό, η διδακτική μέθοδος που βασίζεται σε δραστηριότητες μοντελοποίησης να λαμβάνει υπόψη της τη συγκρότηση των νοητικών μοντέλων των μαθητών και τις αναπαραστάσεις που βασίζονται στην πρότερη εμπειρία τους σχετικά με τα προς μελέτη φαινόμενα ή επιστημονικές έννοιες (σχήμα 1). Στο πλαίσιο αυτό, οι προτεινόμενες στους μαθητές διδακτικές δραστηριότητες πρέπει να αφορούν στην επίλυση προβλημάτων που να έχουν νόημα για τα παιδιά και να βασίζονται στις καθημερινές τους πολιτισμικές εμπειρίες.

Οι μελέτες σχετικά με τα νοητικά μοντέλα των μαθητών οδηγούν σε μια αντίληψη της μάθησης με όρους εννοιολογικής αλλαγής, της αντικατάστασης δηλαδή λανθασμένων γνώσεων με γνώσεις πιο συμβατές από την επιστημονική κοινότητα. Οι διαδικασίες που πρέπει να λάβουν χώρα ώστε να επιτευχθεί η εννοιολογική αλλαγή (με όρους ανασυγκρότησης των νοητικών μοντέλων των μαθητών ώστε να προσεγγίζουν τα εννοιολογικά μοντέλα των επιστημόνων) πρέπει να πλαισιώνονται και να υποστηρίζονται με κατάλληλα εργαλεία (όπως πραγματικά αντικείμενα, εκπαιδευτικό λογισμικό, κτλ.) καθώς και να ενισχύονται με την ανθρωπίνη αλληλεπίδραση.

Η χρήση εργαλείων και η ανάπτυξη σύμμετρων (με άλλους δηλαδή μαθητές) ή ασύμμετρων (με τον εκπαιδευτικό) αλληλεπιδράσεων συνιστά το κατάλληλο πλαίσιο δημιουργίας γνωστικών και κοινωνικογνωστικών συγκρούσεων που είναι απαραίτητες στη διαδι-

κασία ανασυγκρότησης των νοητικών μοντέλων και στην εμφάνιση της εννοιολογικής αλλαγής.

Εάν συνοψίσουμε τις προϋποθέσεις για μια ουσιαστική και αποτελεσματική χρήση των μοντέλων και της μοντελοποίησης στη διδασκαλία των θετικών επιστημών μπορούμε να αναφερθούμε στα ακόλουθα:

- Υποστήριξη της έκφρασης καθώς και διερεύνηση και κατανόηση από τον εκπαιδευτικό των νοητικών μοντέλων των μαθητών.
- Παροχή έμπρακτων, αυθεντικών και αλληλεπιδραστικών μαθησιακών καταστάσεων στο πλαίσιο επίλυσης προβλημάτων που έχουν νόημα για τους μαθητές.
- Ενίσχυση ενός πλαισίου μάθησης (που διαμεσολαβείται και υποστηρίζεται από συμβολικά και πραγματικά εργαλεία) στη ζώνη της επικείμενης γνωστικής ανάπτυξης των μαθητών.
- Ανάπτυξη διδακτικών καταστάσεων με στόχο την εννοιολογική αλλαγή.
- Προσφορά εργαλείων και ενίσχυση της κοινωνικής αλληλεπίδρασης για τη δημιουργία γνωστικών και κοινωνικογνωστικών συγκρούσεων.
- Ενίσχυση των μεταγνωσιακών δεξιοτήτων.

3. Υπολογιστικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης

3.1 Εννοιολογική οριοθέτηση

Η σχεδίαση και ανάπτυξη υπολογιστικών περιβαλλόντων μάθησης, που να εντάσσονται στο πλαίσιο που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες ενότητες οφείλει να προσανατολίζεται στο χειρισμό οικονομικών και συμβολικών παραστάσεων που αναπαριστούν αντικείμενα, έννοιες, ιδιότητες ή πράξεις πάνω στον πραγματικό κόσμο καθώς και στη δυνατότητα σύνδεσής τους επιτρέποντας την έκφραση της δομής και των αλληλεξαρτήσεών τους. Μια μεγάλη κατηγορία εκπαιδευτικού λογισμικού που εμπερικλείει στις λειτουργίες του τέτοιου τύπου δραστηριότητες, είναι το λογισμικό μοντελοποίησης (Teodoro, 1994, Mellar et al., 1994). Δεδομένου ότι τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις της δομής ενός συστήματος, χρειάζονται εργαλεία μοντελοποίησης τα οποία να κατασκευάζουν αυτές τις αναπα-

ραστάσεις. Οι εκπαιδευτικοί μάλιστα είναι εξοικειωμένοι με τα συνήθη αναπαραστασιακά εργαλεία μοντελοποίησης: λεκτικά, μαθηματικά, γραφικά και άλλα. Αντιθέτως, είναι πολύ λιγότερο εξοικειωμένοι με τα πιο σύγχρονα εργαλεία μοντελοποίησης που προσφέρουν οι υπολογιστές. Η ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού τους (και όχι χειρισμού των ίδιων των αντικειμένων), και επιτρέπει τη δυνατότητα έκφρασης (δραστηριότητες μοντελοποίησης, με δημιουργία νέων μοντέλων) και διερεύνησης (δραστηριότητες διερεύνησης έτοιμων μοντέλων μέσω της προσομοίωσής τους) συλλογισμών τους οποίους μπορούμε να κατατάξουμε σε τρεις βασικούς άξονες: ποιοτικός (qualitative), ημιποσοτικός (semi-quantitative) και ποσοτικός (quantitative) (πίνακας 2).

Τα ποσοτικά μοντέλα λειτουργούν πάνω σε μετρήσιμα μεγέθη και οι σχέσεις που δημιουργούνται ανάμεσα στα μεγέθη εκφράζονται από μαθηματικούς τύπους. Τα ημιποσοτικά (semi-quantitative) μοντέλα, αν και στηρίζονται πάνω σε μετρήσιμα μεγέθη, δεν εκφράζουν την τιμή αλλά το είδος της επιρροής ενός μέρους του συστήματος σε κάποιο άλλο μέρος. Αφορούν συνεπώς μοντέλα που λειτουργούν με ποιοτικό ουσιαστικά τρόπο. Τα ποιοτικά (qualitative) μοντέλα αναπαριστούν τις γνώσεις που δεν είναι δυνατόν να εκφραστούν με με-

Τύπος μοντελοποίησης	Έκφραση	Διερεύνηση
ποσοτικός	Συστήματα μαθηματικών μοντέλων, με βασικά εργαλεία τις μαθηματικές εξισώσεις και τα λογιστικά φύλλα	Διερεύνηση επιστημονικών προσομοιώσεων, εξισώσεων
ημιποσοτικός	Δημιουργία ποιοτικών μοντέλων των σχέσεων μεταξύ παραγόντων (ανεξάρτητες και εξαρτημένες μεταβλητές)	Ποιοτικές προσομοιώσεις σχέσεων ανάμεσα σε παράγοντες και μεταβλητές, με βάση την τάξη μεγέθους και τη σχέση ανάμεσα στις δυνατές τιμές
ποιοτικός	Σχεδίαση έμπειρων διδακτικών συστημάτων, ανάπτυξη σημασιολογικών δικτύων και εννοιολογικών χαρτών	Χρήση έμπειρων διδακτικών συστημάτων, προσομοιώσεις λήψης απόφασης και συνεπειών, ροή λογικών σχέσεων

Πίνακας 2: Τύπος μοντελοποίησης και δυνατές χρήσεις

τρήσιμο τρόπο. Τέτοιου τύπου γνώσεις (συνήθως μια επιλογή από ένα πεπερασμένο πλήθος δυνατοτήτων) των οποίων τα όρια εγκυρότητας δεν είναι αυστηρά αποσαφηνισμένα και δεδομένα συνιστούν μεγάλο μέρος των σύγχρονων αναλυτικών προγραμμάτων.

Με βάση το προηγούμενο εννοιολογικό πλαίσιο μπορούμε να κατατάξουμε τα υπολογιστικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

1. Περιβάλλοντα ποσοτικού και συμβολικού συλλογισμού και στο μαθηματικό φορμαλισμό που τον συνοδεύει.
2. Περιβάλλοντα ποιοτικού συλλογισμού.
3. Περιβάλλοντα ημιποσοτικού συλλογισμού (και το πέρασμα από ποιοτικές σε ποσοτικές νοητικές διεργασίες) και
4. Περιβάλλοντα που υποστηρίζουν ταυτόχρονη ή παράλληλη έκφραση ποιοτικού, ημιποσοτικού και ποσοτικού συλλογισμού.

Επιπρόσθετα, τα υπολογιστικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης (Hestenes, 1996) επιτρέπουν δύο μεγάλες κατηγορίες χρήσης (πίνακας 2):

Α. Εργαλεία για οικοδόμηση και ανάλυση μοντέλων (έκφραση): οι υπάρχουσες μορφές αναπαράστασης (λεκτικές, εικονικές, μαθηματικές, διαγραμματικές, κ.λπ.) υλοποιούνται και μέσα από τους υπολογιστές. Ένα σημαντικό στοιχείο με πολλαπλές δυνατότητες είναι οι πιθανές μορφές αναπαράστασης οι οποίες δεν μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς τη χρήση υπολογιστών. Χαρακτηριστικά τέτοια στοιχεία είναι η υπολογιστική προσομοίωση και η επέκταση των γράφων σε διδιάστατες ή τρισδιάστατες εξεικονίσεις των λειτουργικών σχέσεων.

Β. Εργαλεία ελέγχου εγκυρότητας του μοντέλου (διερεύνηση): τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των προβλέψεων δεδομένων μοντέλων με τα εμπειρικά δεδομένα.

3.2 Περιβάλλοντα ποσοτικής / συμβολικής μοντελοποίησης

Τα περιβάλλοντα ποσοτικής – συμβολικής μοντελοποίησης είναι τα πιο διαδεδομένα και έχουν μεγαλύτερη χρήση στην εκπαιδευτική διαδικασία. Μπορούμε να τα ταξινομήσουμε σε λογισμικά γενικής χρήσεως τα οποία εντάσσονται σε επιμέρους γνωστικά αντικείμενα ή χρησιμοποιούνται για διεπιστημονικές δραστηριότητες.

Ποσοτική / Συμβολική Μοντελοποίηση: Γενικού τύπου λογισμικό		
Λογισμικό γενικής χρήσεως	Προγραμματιστικά περιβάλλοντα	Λογισμικό για CAD/CAM
Λογισμικό για μαθηματικά: Mathematica, MathLab, MathCAD, Maple	Μικρόκοσμοι με χρήση γλωσσών προγραμματισμού: Logo, Boxer, ToonTalk, Modelica	ModelBuilder, Power Sim, Eprobe, 20-Sim
Λογιστικά Φύλλα (π.χ. Excel, Lotus) και Βάσεις Δεδομένων	Microworlds, StageCast, NetLogo	Εργαλεία μηχανικών (π.χ. AutoCAD)
Ποσοτική / Συμβολική Μοντελοποίηση: Εκπαιδευτικό λογισμικό		
Για διαθεματική χρήση	Για φυσικές επιστήμες	Για μαθηματικά
Modellus	Φυσική: Interactive Physics, Modellus Explore It,	SimCalc, Modellus
Stella, Ithink, Vensim	Χημεία: ActivChemistry, ChemLab	Cabri Géomètre, Geometer's Sketchpad [®] , Cinderella
SimQuest, Theory Builder	Βιολογία: Explore It, ModelMaker	

Πίνακας 3: Κατηγορίες λογισμικού ποσοτικής μοντελοποίησης

Με την ευρεία έννοια, σε αυτή την κατηγορία λογισμικών μπορούμε να εντάξουμε πολλά λογισμικά γενικής χρήσεως (κυρίως για μαθηματικούς υπολογισμούς, όπως το λογιστικό φύλλο ή για δημιουργία συστημάτων καταχώρησης δεδομένων, όπως η βάση δεδομένων), τα λογισμικά για CAD / CAM (πίνακας 3) και διάφορα προγραμματιστικά περιβάλλοντα που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση (κλασικό παράδειγμα η γλώσσα Logo). Τα προγραμματιστικά αυτά περιβάλλοντα είναι γνωστά και με τον όρο «μικρόκοσμοι» και συνιστούν ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα του εποικοδομισμού.

3.3 Περιβάλλοντα ποιοτικής μοντελοποίησης

Τα λογισμικά αυτά μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε σε γλώσσες λογικού προγραμματισμού ή κελύφη για ανάπτυξη έμπειρων διδακτικών συστημάτων (τα οποία συνιστούν μια από τις κλασικές εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης), έτοιμα έμπειρα διδακτικά συστήματα και σε περιβάλλοντα σημασιολογικών δικτύων και εννοιολογικής χαρτογράφησης (concept mapping) (πίνακας 4). Η εννοιολογική χαρτογράφηση αναπτύχθηκε από τον Novak (Novak, 1977) και συνιστά έναν γνωστό τρόπο αναπαράστασης της γνώσης

Ποιοτική Μοντελοποίηση		
Εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών	Εμπειρα διδακτικά συστήματα	Εννοιολογική χαρτογράφηση & Σημασιολογικά Δίκτυα
Γλώσσες προγραμματισμού: Prolog, Lisp	Εφαρμογές: Energy Expert, WorldMaker, Aplusix, Explore Your Options	Inspiration, KidSpiration, MOT, MindMan, SmartDraw, CMaps
Κελύφη ανάπτυξης συστημάτων: Expert System Builder, ACQUIRE®		SemNet, AXON Idea, Decision Explorer, MindMapper, Activity Map, Class, Belvedere, PiVit
		Representation Tool, SmartIdeas, VisiMap

Πίνακας 4: Κατηγορίες λογισμικού ποιοτικής μοντελοποίησης

και της έκφρασης των νοητικών μοντέλων των μαθητών. Βασικά συστατικά της είναι οι κόμβοι που αναπαριστούν έννοιες και οι σύνδεσμοι που αναπαριστούν σχέσεις ανάμεσα στις έννοιες.

3.4 Περιβάλλοντα ημιποσοτικής μοντελοποίησης (Τα λογισμικά «Δημιουργός Μοντέλων» και ModellingSpace)

Μια ενδιαφέρουσα –παρότι χρησιμοποιείται ελάχιστα– κατηγορία συστημάτων μοντελοποίησης αφορά τα περιβάλλοντα ημιποσοτικής μοντελοποίησης και τη δυνατότητα παράλληλης ή ταυτόχρονης χρήσης διαδικασιών ποιοτικής, ημιποσοτικής και ποσοτικής μοντελοποίησης (πίνακας 5). Στο πλαίσιο αυτό, ένα μοντέλο αποτελείται από μια συλλογή *οντοτήτων* που έχουν σαφώς προκαθορισμένες *ιδιότητες* και μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους με καλώς προσδιορισμένους *κανόνες - σχέσεις*.

Τα λογισμικά «Δημιουργός Μοντέλων» και ModellingSpace συνιστούν ανοικτά υπολογιστικά περιβάλλοντα μάθησης που επιτρέπουν στους μαθητές την επινόηση και το σχεδιασμό μοντέλων, τη

Ημιποσοτική Μοντελοποίηση		
Ημιποσοτικός συλλογισμός	Ποσοτικός, ποιοτικός και ημιποσοτικός συλλογισμός	
IQON, LinkIt, Model-It, Stella, IThink, Vensim	Δημιουργός Μοντέλων	ModellingSpace

Πίνακας 5: Κατηγορίες λογισμικού ημιποσοτικής μοντελοποίησης

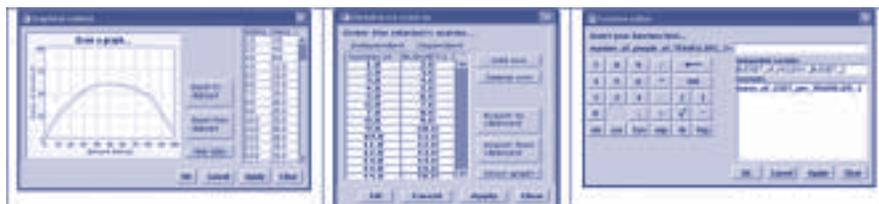


Εικόνα 1: Ένα μοντέλο εκφρασμένο με ημιποσοτικό και ποσοτικό τρόπο στο λογισμικό ModellingSpace

διερεύνηση της συμπεριφοράς τους, τη βελτίωσή τους και ενδεχομένως τον έλεγχο των ορίων της εγκυρότητάς τους. Πρόκειται για περιβάλλοντα μοντελοποίησης, με έμφαση στον ποιοτικό και στον ημιποσοτικό τύπο συλλογισμού, καθώς και στους εναλλακτικούς τρόπους έκφρασης και οπτικοποίησης μοντέλων. Με τον όρο «ημιποσοτικός συλλογισμός» εννοείται η δυνατότητα του χρήστη να εκφράζει ποσοτικές σχέσεις με ποιοτικό τρόπο, χωρίς δηλαδή να χρησιμοποιεί μαθηματικούς φορμαλισμούς (Dimitracoulou & Komis, in press, Dimitracoulou et al., 1999, Komis et al., 2001). Για να δημιουργήσει ο μαθητής ένα μοντέλο με το Δημιουργό Μοντέλων ή το ModellingSpace είναι απαραίτητο να καθορίσει με τη χρήση των εργαλείων του συστήματος:

- τις *οντότητες* του μοντέλου,
- τις *ιδιότητες* της κάθε οντότητας,
- τις *σχέσεις* ανάμεσα στις οντότητες αυτές μέσω ιδιοτήτων τους.

Με άλλα λόγια, τα λογισμικά «Δημιουργός Μοντέλων» και ModellingSpace προτείνουν ένα περιβάλλον εργασίας εμπλουτισμέ-



Εικόνα 2: Διεπιφάνεια ορισμού και διαχείρισης των τριών ποσοτικών σχέσεων

νο με αντικείμενα που παίζουν ένα *ενδιάμεσο (transitional)* ρόλο βοηθώντας στο νοητικό χειρισμό εκ μέρους των μαθητών αφηρημένων αντικειμένων ή εννοιών. Λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο ως πέρασμα από τη διαισθητική στη φορμαλιστική μάθηση. Η προσέγγιση της έννοιας της αλληλεξάρτησης μεταξύ μεγεθών γίνεται καταρχήν με ποιοτικό τρόπο, ενώ στη συνέχεια τα περιβάλλοντα αυτά επιτρέπουν το πέρασμα στον ποσοτικό συλλογισμό, τόσο με τη χρήση πινάκων αντίστοιχων τιμών, όσο και με τη χρήση αλγεβρικής μοντελοποίησης και γραφικών παραστάσεων (εικόνα 2).

Πολύ σημαντικά επίσης είναι τα εργαλεία περιέχουν τα λογισμικά αυτά και είναι απαραίτητα για τον έλεγχο εγκυρότητας του μοντέλου. Ο έλεγχος αυτός αποτελεί μια βασική γνωστική διεργασία και συνήθως συνίσταται στη διαδικασία της αποτίμησης της καταλληλότητας του μοντέλου μέσω χειρισμού (με λειτουργίες που προσφέρουν τα λογισμικά) των επιμέρους παραμέτρων του.

Στην εικόνα 1 φαίνεται ένα απλό μοντέλο (αριστερά, στο παράθυρο με τίτλο Αναλογία1, το μοντέλο έχει εκφραστεί με ημιποσοτικό τρόπο, ενώ δεξιά, στο παράθυρο με τίτλο Αναλογία2, με ποσοτικό τρόπο) όπου ο μαθητής μπορεί να πειραματιστεί με τις σχέσεις αναλογίας και αντίστροφης αναλογίας ανάμεσα στις έννοιες *χρόνος*, *όγκος* και *παροχή*. Το αντίστοιχο πρόβλημα βρίσκεται στα βιβλία μαθηματικών του Δημοτικού και του Γυμνασίου και μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

α. Ποια σχέση συνδέει το χρόνο με τον όγκο του νερού που μπαίνει σε ένα βαρέλι όταν η παροχή της βρύσης είναι σταθερή;

β. Ποια σχέση συνδέει τον όγκο νερού με την παροχή σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα;

γ. Ποια σχέση συνδέει τον χρόνο με την παροχή όταν ο όγκος του νερού είναι συγκεκριμένος;».

Το εκπαιδευτικό λογισμικό στην περίπτωση αυτή επιτρέπει στους μαθητές να χρησιμοποιήσουν συγκεκριμένα αντικείμενα (ρολόι, βρύση, κανάτα, τα οποία έχουν βιντεοσκοπηθεί κατά τη διάρκεια μιας πραγματικής κατάστασης και έχουν εισαχθεί ως οντότητες στο λογισμικό) που εμπεριέχουν ως ιδιότητες τις υπό μελέτη αφηρημένες έννοιες (χρόνος, παροχή, όγκος) συγκεκριμενοποιώντας τις κατ' αυτόν τον τρόπο και προσφέροντας ποιοτικά εργαλεία χειρισμού τους: ο μαθητής χρησιμοποιεί κατάλληλα χειριστήρια ώστε να μεταβάλλει τις τιμές των ιδιοτήτων, ενώ μπορεί να τις συνδέσει με σχέσεις που του προσφέρει το σύστημα, όπως «αυξάνει – αυξάνει», «αυξάνει – ελαττώνεται», κ.λπ.

Ο μαθητής κατασκευάζει το μοντέλο του μεταφέροντας στο χώρο εργασίας τα αντικείμενα «ρολόι», «βρύση» και «κανάτα», επιλέγοντας τις αντίστοιχες ιδιότητες και συνδέοντας με σχέση αναλογίας («αυξάνει – αυξάνει») το «χρόνο» του ρολογιού με τον «όγκο νερού» (το μοντέλο της ερώτησης α) που μπαίνει στο βαρέλι, ενώ αποδίδει ως σταθερά τιμή την τιμή της μεταβλητής «παροχή». Στο πλαίσιο αυτό δημιουργεί ένα μοντέλο της προς μελέτη κατάστασης πολύ πιο κοντά στις βιωματικές του γνώσεις και τις πρότερες εμπειρίες (εικόνα 1, το μοντέλο Αναλογία1).

Από τα χειριστήρια μπορεί στη συνέχεια να μελετήσει το μοντέλο του ώστε να παρατηρήσει τη συμπεριφορά του (να ελέγξει δηλαδή την εγκυρότητά του) καθώς επίσης και να δει μια σειρά από εναλλακτικές ταυτόχρονες αναπαραστάσεις όπως το ραβδόγραμμα, ο πίνακας τιμών και η γραφική παράσταση. Τέλος, ο χρήστης είναι σε θέση να μελετήσει το ιστορικό κατασκευής του μοντέλου του.

Ο χρήστης μπορεί επίσης να εκφράσει το μοντέλο του με ποσοτικό τρόπο (εικόνα 1, το μοντέλο Αναλογία2) χρησιμοποιώντας είτε το *συντάκτη μαθηματικών εκφράσεων* $\Phi(x)=\psi$ (εικόνα 2), είτε τη *σχέση πίνακας* που επιτρέπει να συνδέονται δύο μεταβλητές με έναν πίνακα τιμών, είτε τη *σχέση γράφημα* που επιτρέπει να σχεδιάζεται στο καρτεσιανό επίπεδο η γραφική συσχέτιση δύο μεταβλητών. Μπορεί συνεπώς να συγκρίνει δύο μοντέλα εκφρασμένα με διαφορετικές σχέσεις, να μελετήσει τη συμπεριφορά τους και να συνάγει τα απαραίτητα συμπεράσματα.

Η διεπιφάνεια χρήσης του ModelingSpace επιτρέπει τη δημιουργία και το χειρισμό τριών διακριτών ποσοτικών σχέσεων όπως φαί-

νεται στην εικόνα 2. Με τη σχέση - γράφημα ο χρήστης σχεδιάζει στο καρτεσιανό επίπεδο δύο μεταβλητών το γράφημα της συσχέτισής τους και το μοντέλο λειτουργεί με τον αντίστοιχο τρόπο. Με τη σχέση – πίνακας τιμών ο χρήστης εισάγει έναν πίνακα τιμών για τις δύο συσχετιζόμενες μεταβλητές και το μοντέλο προσομοιώνεται κατάλληλα. Με δημιουργό μαθηματικής σχέσης ο χρήστης δημιουργεί τις κατάλληλες μαθηματικές εκφράσεις ανάμεσα σε μια εξαρτημένη, μια ανεξάρτητη μεταβλητή και μία ή περισσότερες παραμέτρους.

Συζήτηση – συμπεράσματα

Οι έρευνες στη γνωστική ψυχολογία και στη διδακτική των θετικών επιστημών συγκλίνουν στη διαπίστωση ότι οι δραστηριότητες μοντελοποίησης συνιστούν μια διαδικασία μάθησης για τους μαθητές που τις εφαρμόζουν. Μέσω της διατύπωσης της κατάστασης-πρόβλημα, του αρχικού σχεδιασμού του μοντέλου, της αντιπαραβολής με άλλα μοντέλα (αυτά των συμμαθητών) της ίδιας κατάστασης, της διερεύνησής τους, του ελέγχου και της τροποποίησής τους, μπορεί να επέλθει η σταδιακή οικοδόμηση μοντέλων που προσεγγίζουν τα επιστημονικά, επιτρέποντας έτσι την αναδόμηση των αναπαραστάσεων, την οικοδόμηση των εννοιών και τη σταδιακή κατανόηση των επιστημονικών θεωριών. Εντούτοις, όπως περιγράψαμε στις προηγούμενες ενότητες, τα περισσότερα υπολογιστικά περιβάλλοντα μάθησης που εντάσσουν στην προβληματική τους διαδικασίες μοντελοποίησης, δίνουν έμφαση στον ποσοτικό συλλογισμό και στο μαθηματικό φορμαλισμό που τον συνοδεύει, γεγονός που τα καθιστά σε μεγάλο βαθμό αναποτελεσματικά όταν χρησιμοποιούνται από μαθητές της γενικής παιδείας. Αντίθετα, στα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα Μοντελοποίησης «Δημιουργός Μοντέλων» και ModellingSpace δίνεται έμφαση στις διαδικασίες ποιοτικής και ημιποσοτικής μοντελοποίησης. Στο πλαίσιο αυτό

- δεν γίνεται χρήση τυπικών μαθηματικών, όπως συμβαίνει με τα κλασσικά συστήματα μοντελοποίησης, αλλά ευνοείται ο ποιοτικός και ο ημιποσοτικός συλλογισμός,
- είναι εφικτή η μοντελοποίηση με βάση την ανάλυση των προβλημάτων και των καταστάσεων σε οντότητες ή αντικείμενα, σε ιδιότητές τους καθώς και σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων,
- επιτρέπεται η έκφραση μέσω οπτικοποίησης τόσο των οντοτήτων,

και των ιδιοτήτων τους όσο και των σχέσεων ή των κανόνων που τις διέπουν ή επιδρούν πάνω σε αυτές,

- υποστηρίζονται ποικίλες και κατάλληλες συμβολικές και γραφικές αναπαραστάσεις, που συνιστούν γνωστικά εργαλεία και μαθησιακά βοηθήματα,
- επιτρέπεται στο μαθητή η ανάπτυξη μεταγνωστικών ικανοτήτων, σημαντικών για την οικοδόμηση των γνώσεων,
- υποστηρίζονται συνεργατικές δραστηριότητες μεταξύ ομάδων μαθητών αλλά και διδασκόντων τόσο σε επίπεδο τοπικού δικτύου, όσο και σε επίπεδο διαδικτύου.

Κάτω από το πρίσμα αυτό, η μοντελοποίηση μπορεί να ευνοήσει ουσιαστικά τη μαθησιακή δραστηριότητα τόσο στη διερευνητική όσο και στην εκφραστική της διάσταση. Παράλληλα, δεδομένης της αναγνωρισμένης σημασίας των μοντέλων και της διαδικασίας μοντελοποίησης στη διδακτική των επιστημών φαίνεται όλο και περισσότερο η ανάγκη για τη διατύπωση μιας θεωρίας διδασκαλίας και μάθησης που να βασίζεται στα μοντέλα (model-based) (Mellar et al., 1994, Gilbert & Boulter, 2000).

Οι μέχρι τώρα έρευνες που έχουν γίνει με τη χρήση των λογισμικών Δημιουργός Μοντέλων και ModelingSpace που περιγράφονται στην εργασία αυτή (Komis et al., 2001, Politis et al., 2001, Avouris et al., 2003, Dimitracopoulou et al., 2003, Komis et al., 2003, Κόμης κ.ά., 2001, Εργαζάκη κ.ά., 2002, Ζόγκζα κ.ά., 2002) έχουν δώσει ενθαρρυντικά αποτελέσματα σκιαγραφώντας παράλληλα και νέους ερευνητικούς άξονες στη διδακτική των επιστημών και στο σχεδιασμό εκπαιδευτικού λογισμικού.

Ευχαριστίες

Το λογισμικό «Δημιουργός Μοντέλων» (υπεύθυνος φορέας Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών του Πανεπιστημίου Πατρών) ενισχύθηκε οικονομικά από το ΥΠΕΠΘ και το λογισμικό ModelingSpace από την Ευρωπαϊκή Ένωση (υπεύθυνος φορέας Τμήμα Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού του Πανεπιστημίου Αιγαίου).

Η εργασία αυτή βασίζεται εν μέρει σε προηγούμενη εργασία των δύο πρώτων συγγραφέων (Κόμης (Β.), Ράπτης (Α.), «Η Υπολογιστική Μοντελοποίηση στη διδασκαλία και τη μάθηση των θετικών επι-

στημών», Προσκεκλημένη Ομιλία, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Μάιος 2002, (υπό δημοσίευση)).

Βιβλιογραφία

- Avouris N., Margaritis M., Komis V., Saez A., Melendez R., ModellingSpace:** Interaction Design and Architecture of a collaborative modelling environment. In (Ed) C. Constantinou “Computer Based Learning in Sciences, Proceedings of Sixth International Conference CBLIS, 5-10 July, 2003, Nicosia, Cyprus, pp.993-1004.
- Bliss J., (1994).** From Mental Models to Modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, C. Tompsett (Eds). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. pp. 27-32, London: The Falmer Press.
- Dimitracopoulou A., Komis V.,** “Design principles for an open and wide MODELLINGSPACE of modelling, collaboration and learning”, International Journal of Continuous Engineering Education and Life-Long Learning (IJCEELL) (in press)
- Dimitracopoulou A., Komis V.,** “Permettre aux ilθves des activitis multiples de modilisation et des approches interdisciplinaires   l’aide d’un nouveau environnement informatique”, in A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg ( diteurs) Actes des XXI journies internationales sur la communication, l’éducation et la culture scientifiques et techniques, Chamonix 1999, pp. 243-248
- Dimitracopoulou A., Komis V., Politis P., Apostolopoulos P., (1999).** Design Principles of a New Modelling Environment Supporting Various Types of Reasoning and Interdisciplinary Approaches, in S.P. Lajoie and M. Vivet (Eds), *Proceedings of 9th International Conference of Artificial Intelligence in Education*, Le Mans, France, IOS Press Ohmsha, pp. 109-120.
- Dimitracopoulou A., Komis V., Teodoro V.D.,** Learning Environment Design for Modelling Activities in a Social Context: The venture of MODELLINGSPACE., Symposium Introductory Text. In (Ed) C. Constantinou “Computer Based Learning in Sciences, Proceedings of Sixth International Conference CBLIS, 5-10 July, 2003, Nicosia, Cyprus, pp.989-992.
- Doise W., Mugny G., (1981).** *Le developpement social de l’intelligence*. Paris, Interditions.

- Fidas Ch., Komis V., Tzanavaris S., Avouris N.**, “*Heterogeneity of learning material in synchronous computer-supported collaborative modelling*”, Computers and Education (accepted for publication)
- Gentner, D., & Stevens, A.L., Eds. (1983).** *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gilbert J., & Boulter C., (2000).** *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hestenes D., (1992).** Modeling games in the Newtonian World. *American Journal of Physics*, 60, pp. 732-748.
- Komis V., Avouris N., Dimitracopoulou A., Margaritis M., in C. Desmoulins, P. Marquet et D. Bouhineau**, Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain, “Aspects de la conception d’un environnement collaboratif de modélisation à distance” EIAH 2003, Strasbourg 15-17 Avril, 2003, pp. 271-282
- Komis V., Dimitracopoulou A., Politis P., Avouris N.**, “*Expérimentations sur l’utilisation d’un logiciel de modélisation par petits groupes d’élèves*”, Sciences et techniques éducatives, Hermès, Vol. 8, No 1-2, Avril 2001, pp. 75-86.
- Mellar H., Bliss J., Boohan, R., Ogborn, J., Tompsett, (Eds), (1994).** *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*, London: The Falmer Press.
- Mendelsohn P., L’ordinateur dans l’enseignement, Actes de la Troisième Rencontre Francophone de la Didactique de l’Informatique, 1992, pp. 53-63.
- Norman D., (1983).** Some Observations on Mental models. In Gentner, D., & Stevens, A.L., Eds. *Mental Models*. pp. 7-14. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Novak J.**, *A theory of education*, Cornell University Press, 1977.
- Politis P., Komis V., Dimitracopoulou A.**, “*MODELSCREATOR : un logiciel de modélisation permettant l’utilisation des règles logiques et la prise de décision*”, Revue de l’Enseignement Public et Informatique, No 102, Juin 2001, pp. 179-199.
- Teodoro V. D. (1994).** Learning with Computer-Based Exploratory Environments in Science and Mathematics. in S. Vosniadou, E. De Corte, H. Mandl (Eds.), *Technology - Based Learning Environments: Psychological and Educational Foundations*. NATO ASI Series, Serie F: Computer and Systems Sciences, Vol. 137, pp.179-186. Berlin: Springer Verlag.
- Vygotsky L., (1962).** *Thought and Language*, MIT PRESS.
- Weil-Barais A., (1994).** Les Apprentissages en Sciences Physiques, In G.

Vergnaud (Ed) *Apprentissages et Didactiques, ou en est-on?* Serie: Former, Organiser pour Enseigner, Paris: HACHETTE Education.

Βοσνιάδου Σ., (1998). *Γνωσιακή Ψυχολογία*. Αθήνα: Gutenberg.

Εργαζάκη Μ., Κόμης Β., Ζόγκζα Β., «*Διερεύνηση νοητικών μοντέλων για την ανάπτυξη - θρέψη των φυτών με εννοιολογική χαρτογράφηση και εκπαιδευτικό λογισμικό*», 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Μάιος 2002, (υπό δημοσίευση).

Ζόγκζα Β., Σαρμονικά Μ., Κόμης Β., «*Η διαδικασία μοντελοποίησης της ανάπτυξης του φυτού σε εκπαιδευτικό λογισμικό: μία μελέτη περίπτωσης*», Η Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στην Κοινωνία της Πληροφορίας, Διοργάνωση ΕΔΙΦΕ - ΠΤΔΕ, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Απρίλιος 2002.

Κόμης Β., Κότσαρη Μ., Λαβίδας Κ., Φείδας Χ., Αβούρης Ν., Δημητρακοπούλου Α., Πολίτης Π., «*Εργαλεία αναπαράστασης και διαμεσολάβηση κατά τη συνεργατική επίλυση προβλήματος σε υπολογιστικό περιβάλλον*», Τζεκάκη Μ. & Χατζηπαντελής Θ. (επιμέλεια), 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή «*Διδακτική των Μαθηματικών και Πληροφορική στην Εκπαίδευση*», Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2001.

Κόμης Β., Ράπτης Α., «*Η Υπολογιστική Μοντελοποίηση στη διδασκαλία και τη μάθηση των θετικών επιστημών*», Προσκεκλημένη Ομιλία, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Μάιος 2002, (υπό δημοσίευση).

Κουλαϊδής Β. (επιμ.), (1994). *Αναπαραστάσεις του Φυσικού Κόσμου*. Αθήνα: Gutenberg.

Ραβάνης Κ., (1999). *Οι Φυσικές Επιστήμες στην Προσχολική Εκπαίδευση. Διδακτική και Γνωστική Προσέγγιση*. Αθήνα: Τυπωθήτω.

Ράπτης Α. & Ράπτη Α, (2002). *Μάθηση και Διδασκαλία στην Κοινωνία της Πληροφορίας, Ολική Προσέγγιση*. Αθήνα.

Σταυρίδου Ε., (1994), Μοντέλα Φυσικών Επιστημών, Αθήνα, Σαββάλας.