

## Εργαλεία και μεθοδολογίες αξιολόγησης ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης

**Μαρία Κορδάκη, Νίκος Μ. Αβούρης, Νίκος Κ. Τσέλιος**

Ερευνητική ομάδα Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου Υπολογιστή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00 Ρίο Πάτρα.

[Kordaki@cti.gr](mailto:Kordaki@cti.gr), [N.Avouris@ee.upatras.gr](mailto:N.Avouris@ee.upatras.gr), [nitse@ee.upatras.gr](mailto:nitse@ee.upatras.gr)

### Περίληψη

Οι σύγχρονες θεωρίες μάθησης επηρεάζουν το σχεδιασμό εκπαιδευτικού λογισμικού και δημιουργούν αρκετά ερωτήματα για το σχεδιασμό των μελετών αξιολόγησής του. Η έμφαση πια δίνεται στο σχεδιασμό ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης στηριγμένων στο συνδυασμό κοινωνικών και εποικοδομιστικών προσεγγίσεων για τη γνώση και τη μάθηση. Η αξιολόγηση αυτών των περιβαλλόντων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μιας και η συμπεριφορά των μαθητών μέσα σε αυτά δεν είναι προβλέψιμη. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα περιβάλλον αξιολόγησης το οποίο συνδυάζει την ευρετική μέθοδο αξιολόγησης, τη μέθοδο πεδίου και την αξιολόγηση βασισμένη σε μοντέλο χρήστη. Για την υποστήριξη αυτών των μεθόδων δημιουργήθηκαν νέα εργαλεία τα οποία παρουσιάζονται σε συνδυασμό με ενδεικτικά παραδείγματα, τα οποία σχολιάζονται κριτικά και συγκρίνονται μεταξύ τους. Το περιβάλλον αξιολόγησης παρουσιάζεται μέσα από την εμπειρία αξιολόγησης ενός ανοικτού περιβάλλοντος μάθησης και πειραματισμού με γεωμετρικές έννοιες που προορίζεται για τις πρώτες τάξεις του γυμνασίου.

**Λέξεις κλειδιά** : Αξιολόγηση, εκπαιδευτικό λογισμικό

### Abstract

Modern theories of learning influence the design of educational software and raise questions on the most appropriate techniques to be used for its evaluation. Today special emphasis is given on the design of *open learning* environments, based on constructivist and social approaches. Evaluation of such environments is particularly difficult, since the behaviour of students in this context is not easily predictable. In this paper, an environment supporting the evaluation of open learning environments is presented. This environment combines a heuristic evaluation technique, field study and evaluation based on user models. New tools have been developed supporting this process, which are presented here in relation to typical evaluation examples. The evaluation environment is presented through a case study of an open environment for learning and experimentation with geometrical concepts for the first years of secondary school.

**Key words** : Evaluation, educational software

### 1. Εισαγωγή

Η αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους εκπαιδευτικούς, τους γονείς αλλά και τους ειδικούς προκειμένου να τους βοηθήσει να αποφασίσουν για την επιλογή του κατάλληλου εργαλείου το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως περιβάλλον μάθησης. Κατά το σχεδιασμό μελετών αξιολόγησης ο ερευνητής καλείται να απαντήσει σε μια σειρά από ερωτήματα. Τα βασικότερα από αυτά συνδέονται με το αν η αξιολόγηση θα αφορά σε τεχνικά ζητήματα όπως η ευχρηστία του λογισμικού ή σε θέματα εκπαιδευτικού χαρακτήρα όπως το τι ο μαθητής μαθαίνει σε αλληλεπίδραση με το λογισμικό. Σχετικά έχει γίνει αποδεκτή η θέωρηση μελέτης της ευχρηστίας του εκπαιδευτικού λογισμικού σε συνδυασμό με την εκπαιδευτική του σημασία (Squires & Preece, 1999). Επιπλέον ερωτήματα αφορούν στο αν η αξιολόγηση θα γίνει από εκπαιδευτικούς ή από ειδικούς, στο αν θα πραγματοποιηθεί στο εργαστήριο ή στην τάξη, όπως και στο αν θα συμμετέχουν ή όχι οι μαθητές σε αυτή τη διαδικασία. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει ο ορισμός των στόχων οι οποίοι τίθενται από κάθε τέτοια μελέτη.

Μια ποικιλία από μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί για την αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού. Ορισμένες από αυτές είναι δανεισμένες από το χώρο των θετικών επιστημών, πραγματοποιούνται στο εργαστήριο, προσπαθούν να απομονώσουν τον έλεγχο κάποιων μεταβλητών, συχνά πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από κάποιο θεωρητικό πλαίσιο και έχουν κυρίως ποσοτικό χαρακτήρα (Bates, 1981). Αν και η σημασία των τεχνικών αυτών είναι αναμφισβήτητη, επειδή το περιβάλλον αυτών των ερευνών είναι τεχνητό και ως εκ τούτου δεν παρέχει αρκετές πληροφορίες για το τι συμβαίνει όταν το εκπαιδευτικό λογισμικό δοκιμάζεται με πραγματικούς χρήστες (Gunn, 1995) είναι απαραίτητη η συμπλήρωση τους με μελέτες πεδίου. Άλλες μεθοδολογίες πραγματοποιούνται μεν στην τάξη με χρήση ερωτηματολογίων, όμως τα ερωτήματα που χρησιμοποιούνται είναι κλειστού τύπου και ως εκ τούτου δεν δίνουν την ευκαιρία για τον εντοπισμό επιπλέον παραγόντων οι οποίοι μπορεί να είναι σημαντικοί, επιδρούν στη μάθηση και οφείλονται στη συμμετοχή του εκπαιδευτικού λογισμικού στη μαθησιακή διαδικασία. Τέτοιοι παράγοντες πολλές φορές είναι αδύνατον να προσδιοριστούν από τη φάση του σχεδιασμού της έρευνας ώστε να διερευνηθεί η επίδρασή τους στη μάθηση μέσω κλειστών ερωτήσεων. Επιπλέον μέσα από αυτές τις μεθοδολογίες δεν είναι τόσο εύκολο να εκφραστούν οι ατομικές διαφορές των μαθητών στη μάθηση (Marton & Sajio, 1976). Γενικότερα οι προσεγγίσεις αξιολόγησης σύμφωνα με τις οποίες γίνεται πρόβλεψη της χρήσης του εκπαιδευτικού λογισμικού με τους μαθητές από κάποιον ειδικό λογισμικού ή εκπαιδευτικό έχουν αμφισβητηθεί ως μονοσήμαντες προσεγγίσεις και για αυτό έχουν συμπληρωθεί από εναλλακτικές ποιοτικές προσεγγίσεις. Οι ποιοτικές αυτές προσεγγίσεις δίνουν έμφαση στο πως και τι ο μαθητής μαθαίνει (Marton, 1981; 1988) ενώ οι εποικοδομιστικές προσεγγίσεις στη μάθηση συνδέουν την αξιολόγηση της μάθησης του μαθητή με την εξέλιξή του σε κάποιο περιβάλλον έτσι ώστε ενεργητικά να κατασκευάζει τις προσωπικές του στρατηγικές προκειμένου να λύνει προβλήματα τα οποία έχουν σημασία για αυτόν (von Glasersfeld, 1987). Οι εποικοδομιστικές ποιοτικές προσεγγίσεις σε συνδυασμό με κοινωνικές θεωρήσεις για τη γνώση και τη μάθηση έχουν γίνει αποδεκτές στην αξιολόγηση του εκπαιδευτικού λογισμικού όπου επιχειρείται επίσης ένας συνδυασμός της αξιολόγησης της μάθησης και της ευχρηστίας του (Squires & Preece, 1999). Επιπλέον αναγνωρίζεται η ανάγκη της συμβατότητας μεταξύ του θεωρητικού πλαισίου του σχεδιασμού του εκπαιδευτικού λογισμικού και εκείνου της αξιολόγησής του (Kordaki & Avouris, 2000; Kordaki & Potari, 1988).

### **1.1 Ανοικτά περιβάλλοντα μάθησης**

Τα περιβάλλοντα μάθησης τα οποία σχεδιάζονται με βάση το γνωσιοθεωρητικό πλαίσιο του εποικοδομισμού είναι κυρίως ανοικτά περιβάλλοντα. Χαρακτηριστικά αναφέρονται το περιβάλλον της γλώσσας Logo, το περιβάλλον της δυναμικής Γεωμετρίας Cabri-Geometry (Laborde, 1990), όπως και το περιβάλλον ημι-ποσοτικών μοντέλων Models Creator (Dimitrakopoulou, et al, 1999). Τα περιβάλλοντα αυτά τα οποία ορίζονται και ως μικρόκοσμοι (Papert, 1980) αποτελούνται : από ένα σύνολο από πρωταρχικά αντικείμενα και βασικές λειτουργίες που επιδρούν σε αυτά όπως και ένα σύνολο από κανόνες που διέπουν αυτή την επίδραση, τα οποία σχετίζονται με τη συνήθη δομή ενός τυπικού συστήματος. Επιπλέον αποτελούνται από έναν χώρο ο οποίος συνδέει αντικείμενα και λειτουργίες με τα φαινόμενα στην οθόνη του υπολογιστή. Ουσιαστικά αυτός ο χώρος καθορίζει τον τύπο της ανάδρασης που παρέχουν αυτά τα περιβάλλοντα (Balacheff & Sutherland, 1994). Η αξιολόγηση τέτοιων περιβαλλόντων έχει δυσκολίες από την άποψη του ότι η μαθησιακή πορεία του μαθητή δεν μπορεί να προβλεφθεί από τη φάση του σχεδιασμού του λογισμικού. Επιπλέον, αυτά τα περιβάλλοντα είναι δυνατόν να εξελίσσονται κατά τη διάρκεια της χρήσης τους από τους μαθητές (Hoyles, 1993, σελ. 3). Από αυτή την άποψη η έρευνα για την αξιολόγησή τους στο πεδίο είναι αναντικατάστατη. Από μian άλλη όμως άποψη υπάρχουν αρκετά θέματα τα οποία αφορούν στο σχεδιασμό των περιβαλλόντων αυτών ως εργαλείων όπως και ως περιβαλλόντων μάθησης τα οποία πρέπει να εντοπισθούν από ειδικούς πριν από τη μελέτη στο πεδίο. Με

τέτοια ζητήματα ασχολούνται οι ευρετικές μέθοδοι αξιολόγησης της ευχρηστίας του λογισμικού (Nielsen, 1994) όπως και οι παρόμοιες μέθοδοι αξιολόγησης της ευχρηστίας του λογισμικού σε συνδυασμό με τη μάθηση (Squires & Preece, 1999). Οι ευρετικές αυτές μέθοδοι υλοποιούνται στο εργαστήριο από ειδικούς.

Η αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού στο πεδίο αποτελεί μια μεθοδολογική προσέγγιση σύμφωνα με την οποία η γνώση παράγεται με βάση την επαγωγική μέθοδο μέσα από την κατάλληλη οργάνωση των δεδομένων και όχι με τη χρήση της παραγωγικής μεθόδου ως έλεγχος υποθέσεων (Babbie, 1989, σελ. 261-290). Επομένως η πληρέστερη και σαφέστερη απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης παίζει σημαντικό ρόλο για την διεξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Για το λόγο αυτό συσκευές συλλογής δεδομένων πολλαπλών αναπαραστάσεων όπως πχ. ήχος, εικόνα, κίνηση, αρχεία καταγραφής ηλεκτρολογήσεων κλπ, δημιουργούν πηγές με βάση τις οποίες δύναται να γίνει πληρέστερη επεξεργασία ώστε να εξαχθούν αντιπροσωπευτικότερα συμπεράσματα. Οι πολλαπλές μορφές δεδομένων οργανώνονται ανά μαθητή ώστε να είναι δυνατή η μελέτη της συμπεριφοράς του. Οι συμπεριφορές αυτές είναι συνεπώς δυνατόν να μελετηθούν με βάση το σύνολο των μαθητών ή τον κάθε μαθητή ξεχωριστά.

## 2. Το πλαίσιο της έρευνας

Η μελέτη αυτή εστιάζει στη χρήση και στην ανάπτυξη εργαλείων για την υποστήριξη της αξιολόγησης ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης και ειδικότερα μικρόκοσμων. Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε για την αξιολόγηση αυτών των περιβαλλόντων αποτελεί μια σύνθεση της ευρετικής προσέγγισης και της αξιολόγησης στο πεδίο με μαθητές. Για την ευρετική αξιολόγηση δημιουργήθηκαν νέοι κανόνες οι οποίοι συζητούνται σε σχέση με ήδη υπάρχοντες στην ενότητα 3.1. Για την αξιολόγηση στο πεδίο χρησιμοποιήθηκαν κατ' αρχάς ήδη υπάρχοντα εργαλεία αξιολόγησης δημιουργήθηκαν όμως στην πορεία και νέα εργαλεία τα οποία παρουσιάζονται στην ενότητα 3.2. Το περιβάλλον αξιολόγησης που δημιουργήθηκε δοκιμάστηκε για την αξιολόγηση του μικρόκοσμου C.AR.ME. ο οποίος αφορά στη μάθηση γεωμετρικών εννοιών.

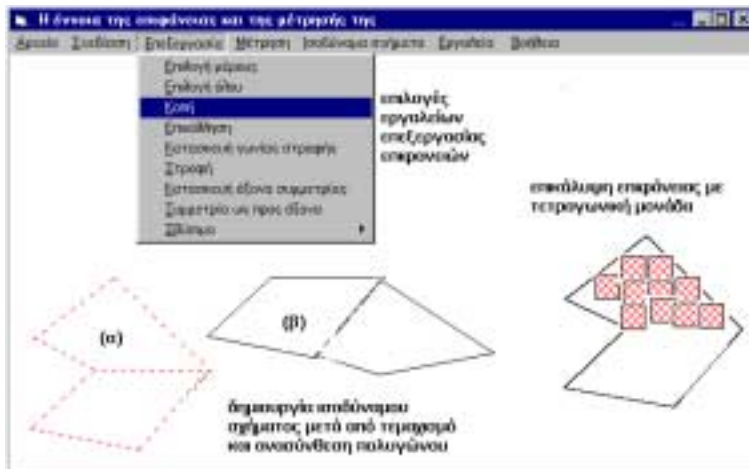
### 2.1. Ο μικρόκοσμος C.AR.ME.

Ο μικρόκοσμος C.AR.ME. (The Conservation of ARea and its MEasurement) κατασκευάστηκε προκειμένου να αποτελέσει ένα περιβάλλον μάθησης των εννοιών που αφορούν στη διατήρηση και στη μέτρηση της επιφάνειας (Kordaki & Potari, 1988). Αποτελεί ένα ανοικτό, αλληλεπιδραστικό περιβάλλον πολλαπλών αναπαραστάσεων και οπτικής ανατροφοδότησης των ενεργειών του μαθητή. Ο σχεδιασμός του μικρόκοσμου ήταν αποτέλεσμα σύνθεσης τριών μοντέλων κατά την κατασκευή των οποίων έγινε προσπάθεια να αντιστοιχηθούν θεωρητικές αρχές σε τεχνικά χαρακτηριστικά. Στο πρώτο μοντέλο επιχειρήθηκε μια ερμηνεία της εποικοδομιστικής γνωσιοθεωρητικής τοποθέτησης σε συνδυασμό με κοινωνικοπολιτισμικές θεωρήσεις για τη γνώση και τη μάθηση (Confrey, 1995; Bauersfeld, 1988). Το δεύτερο μοντέλο στηρίχθηκε σε αποτελέσματα ερευνών που αφορούν στην κατανόηση της έννοιας της διατήρησης και της μέτρησης της επιφάνειας από τους μαθητές ενώ το τρίτο μοντέλο στηρίχθηκε επίσης σε πιθανές ενέργειες των μαθητών προκειμένου να αντιμετωπίσουν προβλήματα που αφορούν τις παραπάνω έννοιες. Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται τα εργαλεία τα οποία παρέχονται από το περιβάλλον του μικρόκοσμου όπως εμφανίζονται στη διεπιφάνεια χρήστη.

Αρχείο	Σχεδίαση	Επεξεργασία	Μέτρηση	αυτόματοι μετασχηματισμοί	Εργαλεία	Βοήθεια
Ανοιγμα	Τετραγωνικός καμβάς	Επιλογή μέρους	Επιφάνειας	Τετράγωνο	Τετραγωνική μονάδα	
Ανοιγμα τελευταίου	Τριγωνικός καμβάς	Επιλογή όλου	Γωνίας	Ορθογώνια Επιπλέον ορθογώνια	Ορθογώνια μονάδα	
Αποθήκευση τελευταίου	Σχεδίαση πολυγώνου	Κοπή	Ευθυγράμμου τμήματος	Παραλληλόγραμμα Επιπλέον παρ/μα	Μονάδα του μαθητή	
Αποθήκευση σαν...	Σχεδίαση ευθ. τμήματος	Σχεδίαση γωνίας στροφής		Τρίγωνα Επιπλέον τρίγωνα	Επικάλυψη με μονάδα	
Εκτύπωση	Τέλος σχεδίασης πολυγώνου	Στροφή		Εμφάνιση αριθμητικών στοιχείων	Καταμέτρηση μονάδων	
Εξόδος	Καθάρισμα οθόνης	Σχεδίαση άξονα συμμετρίας			Τετραγωνικό καρέ	
		Συμμετρία ως προς άξονα			Ορθογώνιο καρέ	
		Σβηστήρες			Καρέ του μαθητή	

Εικόνα 1. Οι επιλογές του μικρόκοσμου C.AR.ME.

Διατίθενται εργαλεία με τη χρήση των οποίων ο μαθητής μπορεί να σχεδιάσει τα δικά του σχήματα (εργαλεία κάτω από τον κατάλογο ‘Σχεδίαση’, εικόνα 1). Επιπλέον εργαλεία τα οποία επιτρέπουν στο μαθητή να μελετήσει την έννοια της διατήρησης της επιφάνειας μέσα από πολλαπλές αναπαραστάσεις της, όπως ύστερα από τεμαχισμό και ανασύνθεση (εργαλεία κάτω από τον κατάλογο ‘Επεξεργασία’, εικόνα 1), καθώς και μέσα από αυτόματους μετασχηματισμούς (εργαλεία κάτω από τον κατάλογο ‘Αυτόματοι μετασχηματισμοί’, εικόνα 1). Επιπλέον διατίθενται εργαλεία για την κατανόηση της έννοιας της μέτρησης της επιφάνειας χρησιμοποιώντας μια ποικιλία μονάδων μέτρησης (εργαλεία κάτω από τον κατάλογο ‘Εργαλεία’, εικόνα 1) όπως επίσης και με τη χρήση αυτόματης μέτρησης επιφάνειας ενός επιλεγέντος σχήματος με τυποποιημένες μονάδες μέτρησης  $πχ\ cm^2$  (εργαλεία κάτω από τον κατάλογο ‘Μέτρηση’, εικόνα 1). Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η αποτύπωση του περιβάλλοντος κατά την αλληλεπίδραση ενός μαθητή με αυτό.



Εικόνα 2. Μετασχηματισμός ενός μη κυρτού πολυγώνου σε νέο ισοδύναμο σχήμα ύστερα από τεμαχισμό και ανασύνθεση (α) &amp; (β), μέτρηση ενός σχήματος με χρήση μονάδων

## 2.2. Το περιβάλλον αξιολόγησης

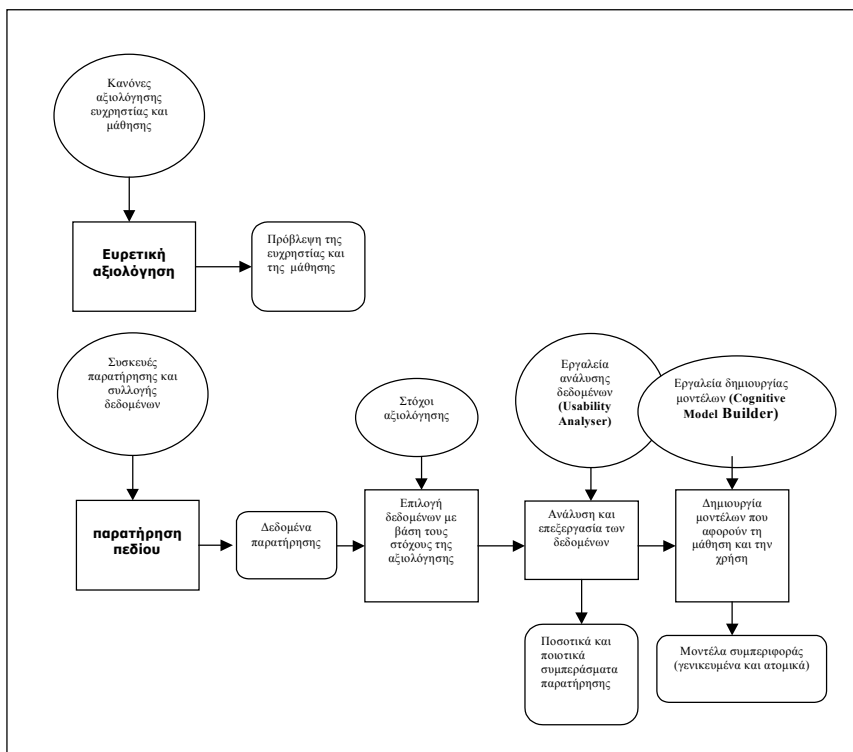
Στην επόμενη ενότητα 3, περιγράφονται οι επί μέρους φάσεις αξιολόγησης που προτείνονται, τα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για την υποστήριξη της μεθοδολογίας και ενδεικτικά αποτελέσματα χρήσης της μεθοδολογίας κατά την αξιολόγηση του μικρόκοσμου C.AR.ME.

## 3. Παρουσίαση των εργαλείων – αποτελέσματα

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται μια διαγραμματική παράσταση του περιβάλλοντος το οποίο δημιουργήθηκε για την αξιολόγηση ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης όπως ο μικρόκοσμος C.AR.ME. Στα πλαίσια του συνδυάζονται διαφορετικές τεχνικές που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 3.1. Η Ευρετική αξιολόγηση

Η μέθοδος της ευρετικής αξιολόγησης αφορά στην εξέταση του συστήματος από ειδικούς οι οποίοι ελέγχουν κατά πόσο το σύστημα ικανοποιεί γνωστούς ευρετικούς κανόνες (heuristic rules) οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί με βάση θεωρητικά μοντέλα και συσσωρευμένη εμπειρία. Στα πλαίσια της δικής μας ερευνητικής προσπάθειας ακολουθήθηκε μια προσέγγιση συνδυασμού ευρετικών κανόνων ευχρηστίας και μάθησης. Οι τυπικοί κανόνες ευχρηστίας προσαρμόστηκαν με βάση την περιγραφή των τυπικών χαρακτηριστικών ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης. Παρατίθενται αρχικά ορισμένοι κανόνες που διέπουν ανοικτά περιβάλλοντα μάθησης, προσαρμοσμένοι από το (Κορδάκη 1999, κεφάλαιο 5), οι οποίοι έχουν κωδικοποιηθεί στον Πίνακα 1. Κατά την αξιολόγηση του συστήματος ελέγχεται αν ικανοποιούνται και σε ποιο βαθμό οι οκτώ απαιτήσεις αυτού του πίνακα.



Εικόνα 3. Διαγραμματική παράσταση του περιβάλλοντος αξιολόγησης

Από την πλευρά της ευχρηστίας λογισμικού οι καθιερωμένοι ευρετικοί κανόνες ευχρηστίας όπως έχουν προταθεί από τον (Nielsen, 1994) και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στο πεδίο, είναι αυτοί που περιέχονται στον Πίνακα 2.

- [α1] Είναι δυνατή η ενεργητική συμμετοχή του μαθητή στην αλληλεπίδραση του με το σύστημα;
- [α2] Είναι δυνατή η ανάπτυξη προσωπικών στρατηγικών επίλυσης προβλημάτων από τους μαθητές;
- [α3] Διατίθενται εργαλεία από το περιβάλλον προς τον μαθητή που ανταποκρίνονται στον τρόπο που ο μαθητής μαθαίνει σύμφωνα με το νοητικό του επίπεδο;
- [α4] Τα εργαλεία που διατίθενται είναι κυμαινόμενης διαφάνειας ώστε να είναι δυνατή η έκφραση ατομικών διαφορών μεταξύ των μαθητών καθώς και εσωτερικών διαφορών του κάθε μαθητή;
- [α5] Παρέχει το περιβάλλον δυνατότητα πειραματισμού με τις έννοιες που οικοδομούνται;
- [α6] Υπάρχουν πολλαπλές αναπαραστάσεις και πολλαπλές λύσεις που μπορεί να δοθούν από τους μαθητές;
- [α7] Παρέχεται επαρκής ανάδραση της κατάστασης του συστήματος και της προόδου που έχει επιτευχθεί ώστε να είναι δυνατός ο αναστοχασμός του μαθητή;
- [α8] Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της ορθότητας των δραστηριοτήτων από τον ίδιο τον μαθητή;

Πίνακας 1. Κανόνες μαθησιακών χαρακτηριστικών ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης

- [ε1] Παρέχει το σύστημα συνεχώς κατάλληλη ανάδραση της κατάστασης του σε εύλογο χρόνο;
- [ε2] Χρησιμοποιείται απλή και κατανοητή γλώσσα και εικονικές και συμβολικές αναπαραστάσεις που είναι προσαρμοσμένες στο νοητικό επίπεδο του χρήστη ;
- [ε3] Παρέχεται δυνατότητα ελέγχου και ελευθερία κίνησης στον χρήστη, π.χ. δυνατότητα αναιρέσης εσφαλμένης ενέργειας (undo) ;
- [ε4] Υπάρχει συνέπεια στην χρήση ορολογίας επιλογών, σημασιολογία συμβόλων κλπ, σε όλη τη διεπιφάνεια χρήστη;
- [ε5] Το σύστημα προστατεύει τον χρήστη από πιθανά σφάλματα;
- [ε6] Γίνεται προσπάθεια ελαχιστοποίησης του μνημονικού φορτίου του χρήστη, περιορίζονται στο ελάχιστο όσα ο χρήστης πρέπει να θυμάται;
- [ε7] Το σύστημα προσαρμόζεται στις ανάγκες των πεπειραμένων χρηστών, παρέχοντας συντομεύσεις σε συχνές ακολουθίες ενεργειών;
- [ε8] Το σύστημα χαρακτηρίζεται από καλαισθησία και μινιμαλισμό στην παρεχόμενη πληροφορία ώστε να αποφεύγεται σύγχυση του χρήστη;
- [ε9] Τα μηνύματα σε περίπτωση σφάλματος είναι σαφή και κατανοητά και προτείνουν διέξοδο από το σφάλμα;
- [ε10] Η παρεχόμενη βοήθεια και εγχειρίδια χρήσης είναι σύντομα και περιεκτικά, και εστιάζουν σε εργασίες του χρήστη αντί για λειτουργίες του συστήματος;

Πίνακας 2. Ευρετικοί κανόνες αξιολόγησης ευχρηστίας λογισμικού (Nielsen 1994)

Μετά από σύγκριση των δύο ομάδων κανόνων που φαίνονται στους Πίνακες 1 και 2, παρατηρούμε ότι αυτές δεν έρχονται σε κανένα σημείο σε σύγκρουση. Σε κάποιο βαθμό παρατηρείται επικάλυψη μεταξύ των κανόνων αν και η έμφαση είναι διαφορετική. Για παράδειγμα οι κανόνες (α7) και (ε1) ταυτίζονται. Επίσης οι κανόνες (α1) και (ε3) είναι συμπληρωματικοί και αφορούν στο ίδιο αντικείμενο, δηλ. στον βαθμό ελέγχου που ο μαθητής έχει επί της διαδικασίας. Επίσης οι κανόνες (α3) και (ε2) εκφράζουν παρόμοια απαίτηση, δηλαδή την ανάγκη το σύστημα να είναι προσαρμοσμένο στο νοητικό επίπεδο του μαθητή. Οι υπόλοιποι κανόνες είναι απόλυτα συμπληρωματικοί, γενικά δε η πρώτη ομάδα καλύπτει λειτουργικά χαρακτηριστικά ενώ η δεύτερη καλύπτει χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας

χρήσης και της διάδρασης του μαθητή με το σύστημα. Στα πειράματα που έγιναν οι κανόνες συνδυάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ως ενιαίο σύνολο. Σε αντίθεση με άλλες τεχνικές, όπως ερωτηματολόγια, οι άξονες αξιολόγησης είναι σχετικά λίγοι και γενικής μορφής. Το αποτέλεσμα της φάσης αξιολόγησης αυτής για το CARME πήρε τη μορφή μιας έκθεσης από παρατηρήσεις που αφορούν κάθε ξεχωριστό ευρετικό κανόνα. Για παράδειγμα οι παρατηρήσεις που αφορούν τον κανόνα [ε3] φαίνονται στον πίνακα 3. Μια γενική παρατήρηση ήταν ότι ενώ οι κανόνες της ομάδας (α) ικανοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, αυτοί της ομάδας (ε) ανέδειξαν πολλαπλά προβλήματα του συστήματος.

#### **Κανόνας [ε3]: Ελευθερία κίνησης- δυνατότητα αναίρεσης**

Δεν υπάρχει δυνατότητα αναίρεσης κάποιας ενέργειας του μαθητή (π.χ. αναίρεση σχεδίασης μιας πλευράς πολυγώνου κλπ)

Για να γίνει στροφή ενός σχήματος, πρέπει ο μαθητής να σχεδιάσει πρώτα επιλέγοντας το σχήμα, μετά να ορίσει τη γωνία στροφής, να μετρήσει τη γωνία και τέλος να δώσει την εντολή "στροφή"

κατά τη διαδικασία σχεδίασης αν γίνει επιλογή από μενού χωρίς να ολοκληρωθεί η σχεδίαση δεν δίνεται η δυνατότητα να ολοκληρωθεί η σχεδίαση

δεν δίνεται η δυνατότητα εναλλακτικού τρόπου ορισμού γωνίας στροφής (π.χ. με ορισμό μοιρών)

Πίνακας 3. Παρατηρήσεις ειδικών με βάση τον ευρετικό κανόνα [ε3]

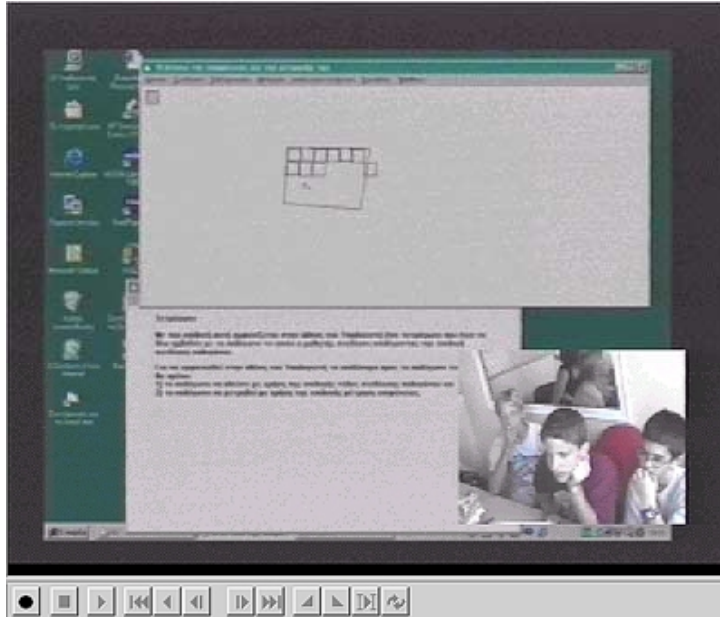
### **3.2. Το περιβάλλον αξιολόγησης εκπαιδευτικού λογισμικού στο πεδίο**

#### **3.2.1. Εργαλεία συλλογής δεδομένων σε πραγματικές συνθήκες αλληλεπίδρασης των μαθητών με το λογισμικό**

Προκειμένου να υποστηριχθεί η μεθοδολογία της αξιολόγησης που προαναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκαν συσκευές του Εργαστηρίου Ευχρηστίας Λογισμικού, όπως μικρόφωνα καταγραφής συνομιλιών, βίντεο, καταγραφή της οθόνης του μαθητή, logfiles πληκτρολογήσεων, με δυνατότητα συγχρονισμού των διαφορετικών πηγών δεδομένων. Με τα μέσα αυτά ήταν εφικτή η πληρέστερη καταγραφή της συμπεριφοράς των μαθητών κατά την αλληλεπίδραση τους με τον μικρόκοσμο. Οι συσκευές αυτές καταγράφουν την αλληλεπίδραση μαθητή-μικρόκοσμου κατά τη διάρκεια του πειράματος, αλλά και την αλληλεπίδραση δασκάλου-μαθητή και της ομάδας μαθητών. Τα δεδομένα που προκύπτουν (εικόνα, κίνηση, ήχος, ιστορικό πληκτρολογήσεων, χρόνοι διεκπεραίωσης εργασιών κλπ.) μπορούν να αναλυθούν στη συνέχεια με κατάλληλο λογισμικό. Στην εικόνα 3, φαίνεται μια τυπική αποτύπωση σύνθετων δεδομένων που έχουν προκύψει από μίξη δύο πηγών βίντεο και μιας πηγής ήχου από το πείραμα αξιολόγησης: Στο υπόβαθρο έχει καταγραφεί η οθόνη του υπολογιστή των μαθητών, ενώ έχει υπερτεθεί η εικόνα των μαθητών.

#### **3.2.2. Εργαλεία παρουσίασης πολλαπλών μορφών δεδομένων**

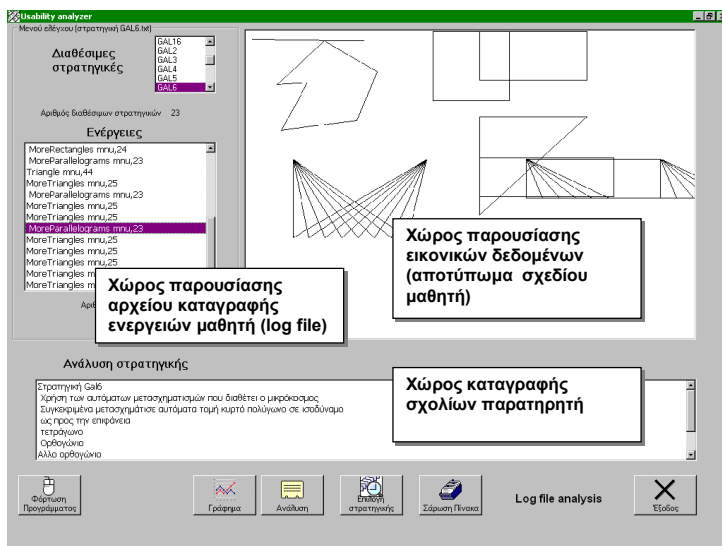
Για την διευκόλυνση της μελέτης της συμπεριφοράς κάθε μαθητή μετά την διεξαγωγή των πειραμάτων, δημιουργήθηκε ένα εργαλείο ταυτόχρονης παρουσίασης πολλαπλών μορφών δεδομένων στην οθόνη του υπολογιστή. Το πρωτότυπο αυτό εργαλείο ονομάστηκε Usability Analyzer (UA). Τα δεδομένα τα οποία μπορεί να διαχειριστεί ο UA είναι τα αρχεία των παρατηρητών με τη μορφή κειμένου, οι κατασκευές των μαθητών με τη μορφή εικόνας και τα αρχεία καταγραφής του ιστορικού επιλεγμένων ενεργειών τους, οι οποίες είχαν καταγραφεί με τη μορφή log files.



Εικόνα 4. Παρουσίαση δεδομένων που έχουν συλλεγεί από μελέτη πεδίου

Τα δεδομένα αυτά διαφέρουν από εκείνα που συλλέγονται απευθείας από το πεδίο στο ότι αποτελούν επιλεγμένα δεδομένα με βάση τα κριτήρια της αξιολόγησης. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.

Το περιβάλλον του Usability Analyzer έδωσε την ευκαιρία για την επεξεργασία και τη μελέτη των στρατηγικών των μαθητών μέσα από δεδομένα πολλαπλών τύπων, την ομαδοποίησή τους και την οργάνωσή τους σε κατηγορίες. Για παράδειγμα αναφέρονται οι κατηγορίες στρατηγικών που δημιουργήθηκαν από τους μαθητές και μελετήθηκαν με τη βοήθεια του UA και αφορούν στην αντιμετώπιση του προβλήματος της σύγκρισης ενός μη κυρτού πολυγώνου με ένα τετράγωνο (Πίνακας 4).



Εικόνα 5. Το περιβάλλον ανάλυσης δεδομένων πεδίου Usability Analyzer



	Οι κατηγορίες των συγκρίσεων	Αριθμός μαθητών	Αριθμός στρατ/κών
1.	Με το 'μάτι'	1	1
2.	Με την περίμετρο	2	2
3.	Με την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης	23	28
4.	Με τις προσομοιωμένες αισθησιοκινητικές ενέργειες (ακε) των παιδιών	14	19
5.	Με τη λειτουργία της μέτρησης	25	49
6.	Με τους αυτόματους μετασχηματισμούς & τη λειτουργία της μέτρησης	9	12
7.	Με τους αυτόματους μετασχηματισμούς	10	15
8.	Με τους αυτόματους μετασχηματισμούς & τις προσομοιωμένες ακε των παιδιών	16	18
9.	Με την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης & τους αυτόματους μετασχηματισμούς	5	5
10.	Με την αυτόματη λειτουργία της μέτρησης & τις προσομοιωμένες ακε	4	4
11.	Με τους τύπους υπολογισμού & τις προσομοιωμένες ακε	1	1
12.	Με τους τύπους υπολογισμού & the automatic area measurement	1	1
13.	Με αυτόματους μετασχηματισμούς & προσομοιωμένες ακε & τη λειτουργία της μέτρησης & με τύπους υπολογισμού σε συνδυασμό με τον εγκλεισμό του πολυγ.	3	4
Σύνολο			159

Πίνακας 4. Στρατηγικές σύγκρισης που μελετήθηκαν με τη βοήθεια του Usability analyser

### 3.2.3 Αξιολόγηση μέσω μοντέλου εργασιών

Η ανάπτυξη ενός *μοντέλου εργασιών* (task model) ή *γνωστικού μοντέλου του χρήστη* είναι μια διαδεδομένη μέθοδος σχεδιασμού διαδραστικών συστημάτων. Η μέθοδος αυτή έχει ευρύτατη διάδοση στην επιστημονική κοινότητα της Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή και έχει οδηγήσει σε ανάπτυξη γνωστικού τύπου εργαλείων και συμβολισμών, όπως η μέθοδος Hierarchical Task Analysis (HTA) και το μοντέλο Goals-Operators-Methods-Selection Rules (GOMS) (Kieras 1996).

Ως παράδειγμα η εργασία «μετασχηματισμός μη-κυρτού πολυγώνου» μπορεί να αναλυθεί ως μια ακολουθία βημάτων γνωστικού χαρακτήρα σε πρώτο επίπεδο ως εξής:

Στόχος 1: σχεδίαση ενός μη-κυρτού πολυγώνου στο χώρο εργασίας,

Στόχος 2: τεμαχισμός ή εγκλεισμός του πολυγώνου (προαιρετικά),

Στόχος 3: μετασχηματισμός των παραγομένων σχημάτων με διάφορα διατιθέμενα εργαλεία ή συνδυασμούς τους,

Στόχος 4: ανασύνθεση σε ενιαίο σχήμα των μετασχηματισμένων τμημάτων,

Στόχος 5: εκτίμηση διατήρησης επιφάνειας μεταξύ αρχικού και τελικού σχήματος

Στη συνέχεια κάθε ένας από τους Στόχους 1 έως 5 αναλύεται περαιτέρω σε υπο-στόχους μέχρι το επίπεδο πληκτρολογήσεων ή χειρισμών εργαλείων.

Μέσω των μεθόδων αυτών είναι δυνατή η καταγραφή των στρατηγικών επίλυσης τις οποίες κατασκευάζει ο χρήστης όταν αλληλεπιδρά με το σύστημα για την επίλυση προβλημάτων.

Τα μοντέλα αυτά στο ανώτερο επίπεδο περιλαμβάνουν τους στόχους που ο χρήστης επιθυμεί να επιτύχει χρησιμοποιώντας το σύστημα, ενώ στο κατώτερο ιεραρχικά επίπεδο περιγράφουν λεπτομερώς την αλληλεπίδραση χρήστη-συστήματος (keystroke level) για την επίτευξη των στόχων αυτών. Η λεπτομερής καταγραφή των στόχων και η συσχέτιση τους με ενέργειες, επιτρέπει στον σχεδιαστή ενός συστήματος να μελετήσει το σύστημα από την πλευρά του χρήστη και να σχεδιάσει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του και τα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών σε επίπεδο μαθητή επιτρέπει την καταγραφή της συμπεριφορά του ενώ συγχρόνως μπορεί να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συνθετότητα των απαιτούμενων εργασιών, την καλή αντιστοίχιση εργαλείων-εργασιών, τις απαιτήσεις σε γνωστικές λειτουργίες όπως μνημονικό φορτίο κλπ.

Στα πλαίσια αξιολόγησης του CARMÉ δημιουργήθηκε ένα πρότυπο μοντέλο εργασιών που περιελάμβανε το μοντέλο σχεδιαστή, στο οποίο περιέχονται οι αρχική υπόθεση του σχεδιαστή του συστήματος όπως αυτό τροποποιήθηκε από την μελέτη πεδίου, βλέπε και (Kordaki & Anouris, 2000). Το μοντέλο αυτό δεν αφορούσε την επίλυση του προβλήματος από κάποιον

συγκεκριμένο μαθητή, αλλά όλες τις προσεγγίσεις που καταγράφηκαν στο πεδίο, αγνοώντας τις παρανοήσεις σημασιολογικού (σχετικές με την έννοια της επιφάνειας, κλπ) και συντακτικού χαρακτήρα (χρήση εργαλείων). Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το αρχικό μοντέλο σχεδιαστή όσον αφορά τις γνωστικές λειτουργίες μαθητή δεν ήταν πλήρες και περιελάμβανε πολλές υποθέσεις που δεν επιβεβαιώθηκαν από την μελέτη του πεδίου. Για παράδειγμα το αρχικό μοντέλο σχεδιαστή προέβλεπε διακριτή χρήση των διατιθέμενων εργαλείων και διακριτή αντιμετώπιση των εννοιών «διατήρηση επιφάνειας» και «μέτρηση επιφάνειας» ενώ οι μαθητές συχνά έτειναν να συνδυάζουν εργαλεία και να αντιμετωπίζουν τις δύο αυτές έννοιες σε συνδυασμό. Προκειμένου για τον εντοπισμό των διαφορετικών στρατηγικών των μαθητών και την ταξινόμησή τους σε ομάδες καθώς και την κατηγοριοποίηση και την ιεράρχησή τους, κατασκευάστηκε ένα σχετικό εργαλείο, όπως περιγράφηκε στο σχήμα 3, το *Cognitive Model Builder*. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει τη δημιουργία ενός χάρτη του συνόλου των διαφορετικών στρατηγικών που κατασκευάστηκαν από το σύνολο των μαθητών. Η ανάπτυξη και πειραματική χρήση του βρίσκεται σε εξέλιξη και η πλήρης περιγραφή του είναι αντικείμενο επόμενης δημοσίευσης.

#### 4. Συμπεράσματα

Η ανάγκη σύνθεσης διαφορετικών μεθόδων αξιολόγησης ανοικτών περιβαλλόντων μάθησης, όπως το C.AR.ME, και η ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων συλλογής, ανάλυσης των δεδομένων και ανάπτυξης μοντέλων είναι το κύριο συμπέρασμα της έρευνας που περιγράφηκε. Τα εργαλεία *Usability Analyser* και *Cognitive Model Builder* που αναφέρθηκαν καθώς και ο πλούσιος εξοπλισμός καταγραφής συμπεριφοράς του Εργαστηρίου Ευχρηστίας που χρησιμοποιήθηκαν σε ένα τμήμα της μελέτης πεδίου συνεισέφεραν και διευκόλυναν αποφασιστικά την αξιολόγηση του μικρόκοσμου. Στην συνέχεια της έρευνας που βρίσκεται σε εξέλιξη, θα γίνει προσπάθεια ολοκλήρωσης των εργαλείων σε ενιαίο περιβάλλον αξιολόγησης και εφαρμογή της μεθόδου σε άλλα περιβάλλοντα μάθησης με παρόμοια χαρακτηριστικά.

#### 5. Αναφορές

- Babbie, E. (1989). *The Practice of Social Research*. CA: Wadsworth Publishing Company.
- Balacheff, N. & Kaput, J. (1996). Computer-based learning environments in mathematics. In A. J. Bates, T. (1981). Towards a better research framework for evaluating the effectiveness of educational media. *British Journal of Educational Technology*, 12(3), 215- 233.
- Bauersfeld, H. (1988). Interaction, Construction and Knowledge: Alternative perspectives for Mathematics Education. In D. A. Grows, T. J. Cooney, & D. Jones (Eds), *Effective Mathematics Teaching* (pp.27-46). Hillsdale, New Jersey: N.C.T.M. Lawrence Erlbaum.
- Confrey, J. (1995). How Compatible are Radical Constructivism, Sociocultural Approaches, and Social Constructivism?. In L.P. Steffe & J. Gale (Eds), *Constructivism in Education* (pp. 185-226). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dimitrakopoulou, A., Komis, V., Aposotolopoulos, P., & Politis, P., (1999). Design principles of a new modelling environment for young students, *AI-ED Proc, 9<sup>th</sup> Int. Conf. on AI in Education*, Le Mans, France.
- Gunn, C. (1995). Usability and beyond: Evaluating Educational effectiveness of computer-based learning. In G. Gibbs (Eds), *Improving Pupil Learning Through Assessment and Evaluation* (pp. 168-190). Oxford Centre for Staff Development.
- Hoyle, C. (1993). Microworlds/ schoolworlds: The transformation of an innovation. In C. Keitel and K. Ruthven (Eds), *Learning from computers: Mathematics Educational Technology* (pp.1-17). Berlin: Springer-Verlag.
- Kieras, D., (1966). Task Analysis and the Design of Functionality, in *CRC Handbook of Computer Science and Engineering*, CRC Press.

- Kordaki, M., & Avouris, N., (2000, submitted). Modeling in Design and Evaluation of Open Learning Environments, *Computers & Education*.
- Κορδάκη, Μ., (1999). 'Οι έννοιες της διατήρησης και της μέτρησης της επιφάνειας μέσα από το σχεδιασμό την υλοποίηση και την αξιολόγηση εκπαιδευτικού λογισμικού'. Δημοσίευτη διδακτορική διατριβή, Πάτρα, Απρίλιος, 1999.
- Kordaki, M., & Potari, D. (1998). A learning environment for the conservation of area and its measurement: a computer microworld. *Computers and Education*, 31, 405-422.
- Laborde, J-M. (1990). *Cabri-Geometry* [Software]. France: Universite de Grenoble.
- Marton, F. (1981). Phenomenography-Describing Conceptions of the World Around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.
- Marton, F. (1988). Phenomenography: Exploring Different Conceptions of Reality. In D.M. Fetterman (Eds). *Qualitative Approaches to Evaluation in Education: The Silent Scientific Revolution*, (pp. 176-205). New York: Praeger.
- Marton, F., & Saljo, R. (1976). On Qualitative differences in Learning: I-outcome and process. *British Journal of Educational Psychology*, 46, 4-11.
- Nielsen, J., (1994) Usability inspection methods, in J.Nielsen, R.L. Mark (ed.), *Usability Inspection Methods*, John Willey, New York, 1994.
- Papert, S., (1980). *Mindstorms: Pupils, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Squires, & Preece, J., (1999). Predicting Quality in Educational Software: Evaluating for Learning, Usability and the Synergy between them, *Interacting with Computers*, 11 (1999), pp. 467-483.
- von Glasersfeld, E. (1987). Learning as a constructive activity. In C. Janvier (Eds), *Problems of representation in teaching and learning of mathematics* (pp.3-18). London: Lawrence Erlbaum.