

Σχεδιασμός εκπαιδευτικού λογισμικού για την όξινη βροχή

Αρτεμησία Στούμπα, Ανθimos Χαλκίδης, Κωνσταντίνος Σκορδούλης

Εργαστήριο Διδακτικής και Επιστημολογίας Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας
Π.Τ.Δ.Ε. Αθηνών

artestou@otenet.gr achalkid@primedu.uoa.gr kskordoul@primedu.uoa.gr

Περίληψη: Η όξινη βροχή είναι περιβαλλοντικό πρόβλημα της εποχής μας και ως εκ τούτου αποτελεί ένα από τα βασικά αντικείμενα μελέτης στα πλαίσια του μαθήματος των «Περιβαλλοντικών Επιστημών». Το άρθρο που ακολουθεί περιγράφει το σχεδιασμό εκπαιδευτικού λογισμικού με θέμα την όξινη βροχή καθώς και την υλοποίηση του βασικού κορμού του λογισμικού. Επίσης παρατίθενται συνοπτικά οι εκπαιδευτικές ανάγκες, οι θεωρητικές αφετηρίες και τα ερευνητικά δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για τη δημιουργία του. Τέλος περιγράφεται η πρώτη εφαρμογή του και εξάγονται κάποια συμπεράσματα από αυτή.

Εισαγωγή

Στο εργαστήριο που διεξάγεται στα πλαίσια του μαθήματος των «Περιβαλλοντικών Επιστημών» που διδάσκεται στο έκτο εξάμηνο στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, οι φοιτητές εξοικειώνονται με τις βασικές έννοιες της Περιβαλλοντικής Επιστήμης και αποκτούν τεχνολογικές γνώσεις που τους είναι απαραίτητες για την κατανόηση των αιτίων των περιβαλλοντικών προβλημάτων, κάνοντας χρήση σύγχρονων πειραματικών διατάξεων. Στο ίδιο εργαστήριο υπάρχουν ηλεκτρονικοί υπολογιστές μέσω των οποίων οι φοιτητές έχουν την ευκαιρία να διερευνούν περιβαλλοντικά φαινόμενα και προβλήματα με χρήση κατάλληλων λογισμικών και του διαδικτύου. Ένα από τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η όξινη βροχή. Μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο διαδίκτυο δεν εντοπίστηκε κατάλληλο εκπαιδευτικό λογισμικό για τη διδασκαλία του προβλήματος. Προκειμένου να καλυφθεί αυτή η ανάγκη, αποφασίστηκε να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί λογισμικό που να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των φοιτητών-μελλοντικών δασκάλων. Όμως, αποφασίστηκε να δοθεί κάποια ευελιξία στο λογισμικό ώστε να είναι δυνατό να αξιοποιηθεί και στο μάθημα «Αρχές Περιβαλλοντικών Επιστημών» και σε προγράμματα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στο άρθρο που ακολουθεί παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο κι ο σχεδιασμός του λογισμικού και περιγράφεται με συντομία η πρώτη εφαρμογή του.

Περιβαλλοντικές Επιστήμες στην εκπαίδευση και το πρόβλημα της όξινης βροχής

Τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα με τα οποία η ανθρωπότητα ήρθε αντιμέτωπη από τα μέσα του περασμένου αιώνα, οδήγησαν στη δημιουργία ενός ισχυρού περιβαλλοντικού κινήματος, και στην αναζήτηση λύσεων από τους φορείς της παγκόσμιας κοινότητας. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν ως πρωταρχικό πεδίο αναφοράς τον φυσικό κόσμο, όμως δεν μπορούν να μελετηθούν σε όλη τους την έκταση μέσα στα πλαίσια των παραδοσιακών φυσικών

επιστημών, γιατί οι αιτίες τους έχουν κοινωνικό χαρακτήρα (Σκορδούλης, Σωτηράκου 2005, 17). Στο δρόμο της αναζήτησης λύσεων δημιουργήθηκε μια νέα επιστήμη η Περιβαλλοντική Επιστήμη. Από τα τέλη της δεκαετίας του 70, σε διεθνή κλίμακα αλλά και στη χώρα μας, η Περιβαλλοντική Επιστήμη, εισάγεται ως διδακτικό αντικείμενο στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Ακολούθως στη δευτεροβάθμια και στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση η περιβαλλοντική συνιστώσα εισάγεται με διάφορες μορφές. Στην Ελλάδα εισάγεται κυρίως μέσω των προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, αλλά και μέσω της ενσωμάτωσης στοιχείων από την Περιβαλλοντική Επιστήμη στα υπάρχοντα γνωστικά αντικείμενα. Στη Β' Λυκείου διδάσκεται ως επιλεγόμενο το μάθημα «Αρχές Περιβαλλοντικών Επιστημών». Η όξινη βροχή συμπεριλαμβάνεται στην ύλη του μαθήματος στο πλαίσιο της διδακτικής ενότητας «Ανθρωπογενείς επιδράσεις στο περιβάλλον». Επίσης το πρόβλημα της όξινης βροχής ως ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, δεν μπορεί παρά να συμπεριλαμβάνεται στην ύλη των μαθημάτων «Περιβαλλοντικών Επιστημών» της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Στο μάθημα «Περιβαλλοντικών Επιστημών» του ΠΤΔΕ Αθήνας η όξινη βροχή αποτελεί μια διδακτική ενότητα.

Ο όρος όξινη βροχή χαρακτηρίζει τις κατακρημνίσεις (βροχή χιόνι χαλάζι ομίχλη) που έχουν pH μικρότερο από 5. Σε ακραίες περιπτώσεις έχει μετρηθεί σε κατακρημνίσεις pH μικρότερο από 3, ενώ σε ομίχλη σε πόλη με μεγάλες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων έχει μετρηθεί pH 2 (Ophardt 2003). Συνήθως όμως το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται μεταξύ 4 και 4,5 (Μελάς κ.ά. 2000,30). Η μεγάλη οξύτητα της όξινης βροχής οφείλεται σε ισχυρά οξέα (θειικό και νιτρικό) που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό της. Βασική πηγή αυτών των οξέων είναι τα ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, στην βιομηχανία, αλλά και στην κίνηση. Τα καύσιμα αυτά περιέχουν θείο και άζωτο, ενώ άζωτο περιέχει κι ο αέρας που συμμετέχει στην καύση, και τα αποβάλουν με την μορφή οξειδίων στην ατμόσφαιρα. Τα οξείδια αυτά μέσω μιας πολύπλοκης σειράς αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα μετατρέπονται σε οξέα και τελικά καταλήγουν ως όξινες αποθέσεις τόσο σε περιοχές κοντά στην πηγή εκπομπής τους αλλά και πολλά χιλιόμετρα μακριά από αυτές καθώς μεταφέρονται από τα ρεύματα του αέρα. Έτσι ο έλεγχος του προβλήματος της όξινης απόθεσης καταλήγει να είναι ένα δύσκολο πολιτικό και κοινωνικό πρόβλημα επειδή αυτοί που επηρεάζονται από την όξινη βροχή είναι συχνά πολύ μακριά από αυτούς που την προκαλούν (Μελάς κ.ά. 2000,29). Η όξινη βροχή πολλές φορές προκαλείται και από φυσικά αίτια που ελευθερώνουν οξείδια στην ατμόσφαιρα όπως οι εκρήξεις ηφαιστειών, και οι πυρκαγιές όμως κατά κύριο λόγο τα αίτια της είναι ανθρωπογενή. Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στο περιβάλλον έγιναν αντιληπτές και προσέλκυσαν το παγκόσμιο ενδιαφέρον κυρίως σε σχέση με την καταστροφή των υδάτινων οικοσυστημάτων και των υδάτινων πόρων, την εξασθένηση έως και νέκρωση των δασών και την καταστροφή σπουδαίων μνημείων της ανθρώπινης πολιτισμικής κληρονομιάς (Harrison 1999,67). Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της περιβαλλοντικής καταστροφής, οι χώρες παίρνουν διάφορα μέτρα βάζοντας όρια στις εκπομπές των ρύπων ενισχύοντας την έρευνα για «καθαρότερη τεχνολογία», και δίνοντας κίνητρα για τη χρήση της. Στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη οι εκπομπές των όξινων ρύπων έχουν μειωθεί, και συνεχίζουν να μειώνονται. Κάποια οικοσυστήματα (κυρίως λιμναία) άρχισαν να ανακάμπτουν μετά από προσπάθειες εξουδετέρωσης της οξύτητας. Παρόλα αυτά το πρόβλημα δεν φαίνεται ότι θα βρει γρήγορα λύση. Αντίθετα με τις χώρες του Δυτικού κόσμου όπου παρατηρείται κάποια αργή έστω βελτίωση, το πρόβλημα φαίνεται να γίνεται χειρότερο σε αναπτυσσόμενες οικονομικά χώρες όπως η Κίνα όπου η λήψη μέτρων μοιάζει σαν τροχοπέδη στην ανάπτυξη (Larssen κ.ά. 2006).

Όξινη βροχή, διδακτική έρευνα και διδακτικά εργαλεία

Σύμφωνα με έρευνες στην διδακτική των φυσικών επιστημών, οι φοιτητές εκφράζουν πολλές παρανοήσεις σχετικά με τις δύο βασικές για την κατανόηση του φαινομένου της όξινης βροχής έννοιες: τις έννοιες οξύ και βάση. Ακόμη πιο δύσκολες είναι για αυτούς οι έννοιες της συγκέντρωσης των οξέων και της ισχύος αυτών καθώς συχνά οι σπουδαστές τις συγχέουν μεταξύ τους. Όσον αφορά το pH που είναι το βασικό εργαλείο έκφρασης της οξύτητας, φαίνεται να οδηγεί σε παρανοήσεις καθώς οι μαθητές τείνουν να το ταυτίζουν με την οξύτητα και να μην το βλέπουν ως εργαλείο (Hand 1989, Ouertatani κ.ά. 2006). Τέλος φαίνεται πως είναι ιδιαίτερα δύσκολο για τους φοιτητές να κάνουν τις κατάλληλες συνδέσεις ανάμεσα στα τρία επίπεδα κατανόησης και περιγραφής των επιστημονικών ιδεών: του μακροσκοπικού του μικροσκοπικού και του συμβολικού (Dori & Hameiri 2003). Όμως η ανάπτυξη τέτοιων συνδέσεων είναι απαραίτητη για την ερμηνεία των δεδομένων, και την κατανόηση των μηχανισμών της δημιουργίας και της εξέλιξης του φαινομένου.

Όπως είναι αναμενόμενο αφού υπάρχουν δυσκολίες στην κατανόηση των βασικών επιστημονικών εννοιών και των διαδικασιών που συνθέτουν το φαινόμενο, αρκετή σύγχυση υπάρχει σχετικά με την ερμηνεία του φαινομένου από τους φοιτητές. Σχετικές έρευνες έδειξαν ότι, οι φοιτητές ήταν ενημερωμένοι σχετικά με το φαινόμενο και τις βασικές αιτίες του (καύση άνθρακα, εξατμίσεις αυτοκινήτων), όμως στις ίδιες έρευνες διαπιστώθηκε σύγχυση σε σχέση με τις ουσίες που δημιουργούν την όξινη βροχή, τις διαδικασίες που οδηγούν από τους πρωτογενείς ρύπους στα οξέα, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο η όξινη βροχή προσβάλλει τα μνημεία (Hillman κ.ά. 1996, Khalid 2003). Έρευνα που είχε πραγματοποιηθεί σε φοιτητές παιδαγωγικού τμήματος το 1996 από την Dove είχε δείξει ότι παρόλο που οι φοιτητές μπορούσαν να αναγνωρίσουν την καύση των ορυκτών καυσίμων ως βασικό αίτιο της όξινης βροχής, σε μεγάλο ποσοστό δεν μπορούσαν να κατονομάσουν τα οξειδία που είναι υπεύθυνα. Επίσης στην πλειοψηφία τους δεν μπορούσαν να αναφέρουν φυσικά αίτια της όξινης βροχής, ενώ παρόλο που γνώριζαν τις καταστροφές που η όξινη βροχή προκαλεί στα μνημεία και τα δάση, δεν μπορούσαν να αναγνωρίσουν ποια υλικά είναι πιο ευάλωτα, και δεν μπορούσαν να αιτιολογήσουν γιατί πλήττονται κυρίως τα δάση της Σκανδιναβίας. Τέλος κανένα από τα υποκείμενα της έρευνας δεν κατανοούσε την λογαριθμική φύση της κλίμακας του pH με αποτέλεσμα να υποτιμούν τις συνέπειες από την αύξηση της οξύτητας (Dove 1996).

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στην αναζήτηση διδακτικών εργαλείων που θα επιτρέπουν την δυναμική αναπαράσταση του φαινομένου σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο προκειμένου να διδαχθεί το πρόβλημα της όξινης βροχής. Ο υπολογιστής ως εργαλείο αναπαράστασης έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή επιστημονικής γνώσης και ως τέτοιο ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί και στα πλαίσια της σχολικής επιστήμης (Ράπτης & Ράπτη 2001, 56). Η κατάλληλη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού για την αναπαράσταση πολύ μεγάλης ή πολύ μικρής (χωρικής ή χρονικής) κλίμακας διαδικασιών και εννοιών του μακρόκοσμου ή του μικρόκοσμου, έχει δειχθεί αποτελεσματική για τη διδακτική της χημείας (David Crouch κ.ά. 1996, Kozma 2000, Kozma 1999), της βιολογίας (O'Day 2006) αλλά και της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης (Κατσίκης κ.α. 1995, Frear & Hirschbuhl 1999). Όσον αφορά το φαινόμενο της όξινης βροχής έχει αναπτυχθεί από παιδαγωγική ομάδα στην Βραζιλία, το λογισμικό Carboropolis (Eichler κ.ά. 2005) με θέμα την ατμοσφαιρική ρύπανση και την όξινη βροχή. Το λογισμικό Carboropolis αποτελεί μια (απλουστευμένη για παιδαγωγικούς σκοπούς) προσομοίωση ενός πραγματικού προβλήματος: Ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας ρυπαίνει τον αέρα με διοξείδιο του θείου με αποτέλεσμα το σχηματισμό όξινης βροχής η οποία οδηγεί σε προβλήματα στη φυτική και ζωική παραγωγή. Ο χρήστης καλείται να εντοπίσει την αιτία του προβλήματος

και να προτείνει μια λύση για την εξάλειψη ή την ελάττωσή του. Το λογισμικό περιλαμβάνει χάρτη της περιοχής (όπου εκτός από το εργοστάσιο και τις φυτείες απεικονίζονται μια πόλη, μια φάρμα και ένα ποτάμι), χαρακτήρες που περιγράφουν το πρόβλημα, δυνατότητα «συλλογής και ανάλυσης» δειγμάτων αέρα και βρόχινου νερού, δυνατότητα για «εγκατάσταση» συσκευών καθαρισμού των καυσαερίων, εκτενή βιβλιοθήκη υπερκειμένων, σημειωματάριο και δυο ερωτηματολόγια προκειμένου να καθοδηγηθούν οι χρήστες στην έρευνα (Eichler κ.ά. 2004). Το λογισμικό είναι ανοιχτό και διατίθεται ελεύθερα από το διαδίκτυο σε δύο γλώσσες (Ισπανικά και Πορτογαλικά). Δοκιμές του λογισμικού σε διαφορετικές βαθμίδες της εκπαίδευσης (από πρωτοβάθμια μέχρι Πανεπιστήμιο) και χρήση του λογισμικού με βασικό ερώτημα τους διαφορετικούς τρόπους συλλογισμού που οι μαθητές επιστρατεύουν για να προσεγγίζουν τα περιβαλλοντικά προβλήματα έδωσαν θετικά αποτελέσματα (Eichler κ.ά. 2004, 2005).

Σχεδιασμός του λογισμικού

Σκοπός του λογισμικού είναι να βοηθήσει τους φοιτητές να κατανοήσουν την επιστημονική βάση του φαινομένου, δίνοντας παράλληλα στοιχεία για τη διερεύνηση της τεχνολογίας της σχετιζόμενης με το φαινόμενο. Ειδικότερα το λογισμικό εστιάζει στη δημιουργία των όξινων νεφών και κατακρημνίσεων και στην σταδιακή εξέλιξη των τριών σοβαρότερων προβλημάτων που δημιουργεί η όξινη βροχή, δηλαδή της υποβάθμισης των δασών, της καταστροφής των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καταστροφή των μνημείων.

Το λογισμικό σχεδιάστηκε για να διδαχθεί στο πλαίσιο του μαθήματος «Περιβαλλοντικές Επιστήμες» που είναι υποχρεωτικό μάθημα του έκτου εξαμήνου σπουδών στο Π.Τ.Δ.Ε. Αθήνας. Προκειμένου να σχεδιαστεί το λογισμικό ελήφθησαν υπόψη οι γνώσεις και δεξιότητες των φοιτητών του εργαστηρίου. Αυτοί έχοντας ολοκληρώσει τους κύκλους σπουδών της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, θεωρείται δεδομένο ότι έχουν διδαχθεί τα μαθήματα επιστήμης των 10 πρώτων τάξεων, καθώς και τα μαθήματα επιστήμης που ανήκουν στην κατηγορία μαθημάτων «γενικής παιδείας» των δύο τελευταίων λυκειακών τάξεων, ενώ όσοι από αυτούς έχουν παρακολουθήσει την «θετική κατεύθυνση» έχουν διδαχθεί και «προχωρημένα» μαθήματα επιστήμης. Στο πανεπιστήμιο στο τρίτο και τέταρτο εξάμηνο έχουν παρακολουθήσει μαθήματα φυσικής, όχι όμως μαθήματα χημείας. Σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα οι φοιτητές από τα μαθήματα χημείας της Γ΄ Γυμνασίου και Α΄, Β΄ Λυκείου γνωρίζουν τις περισσότερες βασικές επιστημονικές έννοιες και χημικές διαδικασίες που είναι απαραίτητες για να μελετήσουν το φαινόμενο της όξινης βροχής. Γνωρίζουν δηλαδή τις έννοιες συγκέντρωση, ηλεκτρολύτης, οξύ, βάση, άλας, ασθενές οξύ, ισχυρό οξύ, ιόν, mole, pH, Μοριακότητα και έχουν διδαχθεί το νόημα των χημικών διαδικασιών διάλυση, διάσταση ηλεκτρολύτη, εξουδετέρωση, αντίδραση αντικατάστασης, καύση. Ακόμη γνωρίζουν τα ονόματα των κυριότερων οξέων, βάσεων και των ιόντων από τα οποία αποτελούνται. Μια βασική γνώση που στερούνται οι περισσότεροι (όσοι δεν προέρχονται από θετική κατεύθυνση), είναι η ακριβής σημασία του pH. Δεν γνωρίζουν δηλαδή ότι το pH προκύπτει από την έκφραση της συγκέντρωσης των υδρογονοκατιόντων σε mole/L. Γνωρίζουν όμως την κλίμακα του pH ως μέτρο εκτίμησης της οξύτητας. Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι στα βιβλία Χημείας Γ΄ Γυμνασίου, Α΄ Λυκείου και Β΄ Λυκείου γενικής παιδείας, γίνεται κάποια αναφορά στην δημιουργία της όξινης βροχής και στα προβλήματα που προκαλεί.

Παρόλο που όλα τα παραπάνω εντάσσονται στο πλαίσιο της διδαχθείσας ύλης, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα, λήφθηκαν υπόψη και τα πορίσματα της διεθνούς έρευνας σε θέματα διδακτικής φυσικών επιστημών για τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές στην κατανόηση και τον χειρισμό τους όπως αναφέρονται στην αντίστοιχη ενότητα.

Επειδή η κάθε διδακτική ενότητα στον υπολογιστή διαρκεί περίπου μία ώρα, το λογισμικό σχεδιάστηκε ώστε μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα οι φοιτητές να μπορούν να εξερευνήσουν τα βασικά κορμό του και να ανακαλύψουν τα βασικά αίτια του φαινομένου. Επίσης κατά το σχεδιασμό του λογισμικού ελήφθη πρόνοια ώστε αυτό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα διδακτικά προγράμματα της τριτοβάθμιας, αλλά και της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Έτσι ενσωματώθηκε κάποιο ακόμη ποσοστό πληροφορίας ώστε αυτή να χρησιμοποιηθεί ως έναυσμα για παραπέρα μελέτη του θέματος σε περίπτωση επάρκειας διδακτικού χρόνου. Το λογισμικό αποτελείται από δυο βασικές δομές: ένα τοπίο μοντέλο για τη μελέτη του φαινομένου και μια γραμμή πλοήγησης. Οι δομές αυτές περιγράφονται παρακάτω.

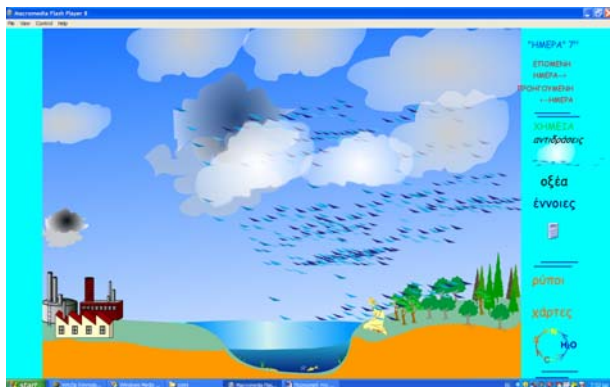
Περιγραφή της πρώτης δομής: τοπίο-μοντέλο

Στο τοπίο μοντέλο απεικονίζεται ένα μη αστικό τοπίο όπου υπάρχουν ένα δάσος μια λίμνη ένα άγαλμα, κι ένα εργοστάσιο όπως φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: το τοπίο πριν τη ρύπανση.

Το μοντέλο εξελίσσεται χρονικά και περιέχει εννέα χρονικές περιόδους. Κάθε περίοδος απεικονίζεται από μια οθόνη και αντιπροσωπεύει ουσιαστικά περιόδους διαφορετικών συνθηκών που διαδέχονται η μια την άλλη. Οι τέσσερις πρώτες οθόνες δείχνουν το τοπίο σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, ενώ το εργοστάσιο δεν λειτουργεί (εικόνα 1). Οι τέσσερις επόμενες οθόνες δείχνουν το τοπίο σε διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, με λειτουργία του εργοστασίου (από την καμινάδα βγαίνει καπνός που εξαπλώνεται στον χώρο όπως φαίνεται στην εικόνα 2). Η τελευταία οθόνη παρουσιάζει το τοπίο μετά την παρέλευση μακρού χρονικού διαστήματος οπότε η λίμνη έχει νεκρωθεί, το δάσος έχει καταστραφεί και το άγαλμα έχει διαβρωθεί (εικόνα 3).



Εικόνα 2: εκπομπή ρύπων στο τοπίο.



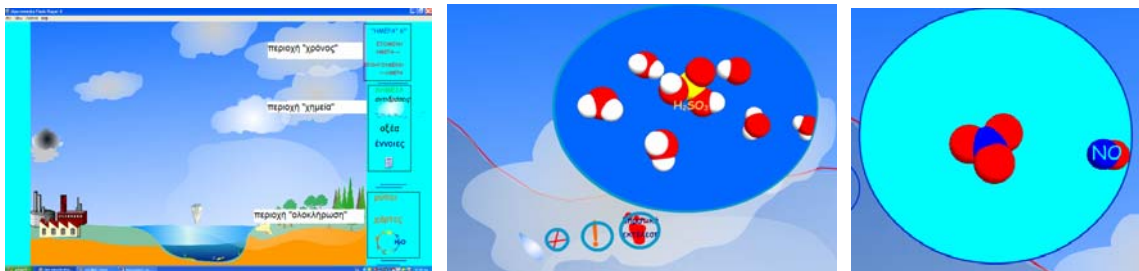
Εικόνα 3: τα αποτελέσματα της ρύπανσης.

Οι οθόνες περιέχουν κίνηση, και είναι αλληλεπιδραστικές. Συγκεκριμένα τα διάφορα «κομμάτια-στοιχεία» που συνθέτουν το τοπίο, στο πέρασμα του δείκτη του ποντικιού πάνω τους, δίνουν πληροφορίες για την κατάστασή τους ενώ στο κλικ δίνουν περισσότερες πληροφορίες δίνοντας ουσιαστικά τη δυνατότητα στους μαθητές να «μετράνε» φυσιολογικές και χημικές ιδιότητες. Έτσι, το μετεωρολογικό μπαλόνι με κλικ πετάει και μετράει την περιεκτικότητα του αέρα σε διοξείδιο του άνθρακα και σε οξείδια θείου και αζώτου σε τρία διαφορετικά χαρακτηριστικά ύψη. Πέρασμα του ποντικιού πάνω από τον καπνό του εργοστασίου φανερώνει τη σύσταση του καπνού. Πέρασμα του ποντικιού πάνω από τα δέντρα του δάσους δίνει πληροφορία για τη γενική κατάσταση του δάσους, ενώ κλικ πάνω σε κάποιο δέντρο δείχνει ένα φύλλο του δέντρου σε μεγέθυνση. Στα σύννεφα και το νερό της βροχής η πρώτη πληροφορία (που φανερώνεται στο πέρασμα του ποντικιού πάνω τους) είναι η τιμή του pH, και η λεπτομερής πληροφορία (που φανερώνεται στο κλικ του ποντικιού) είναι η περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα και αδιάστατα οξέα. Στη λίμνη η πρώτη πληροφορία αναφέρεται στην τιμή του pH, και η λεπτομερέστερη εξηγεί αυτή την τιμή. Στο χώμα η πληροφορία είναι μοναδική και αναφέρεται στο pH και την καταλληλότητα του για καλλιέργεια φυτών. Το άγαλμα με κλικ μεγεθύνεται προκειμένου να το παρατηρούν οι φοιτητές καλύτερα.

Με την βοήθεια φύλλων εργασίας οι μαθητές καλούνται να παρακολουθούν να «μετράνε» και να καταγράφουν τις μεταβολές στις ιδιότητες. Επίσης καλούνται να ανακαλύψουν την αιτία του προβλήματος και τον τρόπο που εξελίσσεται. Καλούνται δηλαδή να κάνουν συσχετισμούς ανάμεσα στα αέρια που βγάζει η καμινάδα, τη μεταβολή στις περιεκτικότητες των αερίων στην ατμόσφαιρα, στη μεταβολή του pH και των ιόντων που εμφανίζονται στα νέφη την ομίχλη και τη βροχή, αλλά και τον τρόπο που αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν τη λίμνη, το δάσος και το άγαλμα. Βέβαια το να καταλάβουν οι φοιτητές τη σχέση ανάμεσα στα αέρια που εκπέμπει το εργοστάσιο και τη μεταβολή της οξύτητας στα υγρά στοιχεία του τοπίου δεν είναι απλό. Καθώς επίσης δεν είναι απλό να εντοπίσουν την αιτία της όξινης βροχής στα διοξείδια του θείου και του αζώτου αφού η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα ποσοτικά είναι πολύ πιο μικρή από εκείνη του διοξειδίου του άνθρακα. Γι αυτό, στη γραμμή πλοήγησης που περιγράφεται παρακάτω υπάρχει η ενότητα της χημείας που παρέχει στους φοιτητές πληροφορίες που τους είναι απαραίτητες προκειμένου να ερευνήσουν να κατανοήσουν και να περιγράψουν τις μεταβολές του μοντέλου.

Περιγραφή της δεύτερης δομής: γραμμή πλοήγησης

Στη γραμμή πλοήγησης υπάρχουν τρεις λειτουργικές περιοχές: «χρόνος», «χημεία», «ολοκλήρωση» (εικόνα 4).



Εικόνα 4: λειτουργικές περιοχές. Εικόνα 5: από το SO_2 στο H_2SO_4 Εικόνα 6: από το NO στο HNO_3

Η λειτουργική περιοχή «χρόνος» πληροφορεί το χρήστη για το «χρόνο» και του δίνει τη δυνατότητα να οδηγηθεί μπρος ή και πίσω σε αυτόν.

Η λειτουργική περιοχή «χημεία» περιέχει πληροφορίες που αντιστοιχούν σε τέσσερις θεματικές ενότητες: «αντιδράσεις», «οξέα», «έννοιες», «μετατροπές $M \rightarrow pH$ ».

Στην ενότητα «αντιδράσεις» οπτικοποιούνται οι αντιδράσεις μέσω των οποίων οι αέριοι ρύποι μετατρέπονται σε οξέα (εικόνες 5,6), καθώς και η γυψοποίηση του μαρμάρου (εικόνα 7). Η μεταφορά σε μοριακή κλίμακα και η αναπαράσταση των χημικών διαδικασιών γίνεται με κλικ του ποντικιού σε ενεργά αντικείμενα του τοπίου.



Εικόνα 6: γυψοποίηση

Εικόνα 7: οπτικοποίηση εννοιών.

Εικόνα 8: διάλυμα HNO_3

Η ενότητα «οξέα» ανοίγει σαν ξεχωριστό παράθυρο στην οθόνη. Σε αυτή περιέχονται 14 καρτέλες όπου περιγράφονται και οπτικοποιούνται έννοιες και διαδικασίες από τη χημεία των οξέων που είναι βασικές προκειμένου οι φοιτητές να ερμηνεύσουν όσα βλέπουν. Αυτές είναι: οξύ, διάλυση και διάσταση οξέος, ισχυρό-ασθενές οξύ, συγκέντρωση οξέος και pH. Σε κάθε έννοια δίδεται σύντομη εξήγηση, η οποία συνοδεύεται από εικονικά διαλύματα, με δυνατότητα «εστίασης» ώστε ο χρήστης να «βλέπει» τις οντότητες του μικρόκοσμου και πώς συμπεριφέρονται (εικόνες 8,9).

Η ενότητα «έννοιες» ανοίγει σαν ξεχωριστό παράθυρο στην οθόνη. Σε αυτή περιέχονται 10 καρτέλες όπου οπτικοποιούνται και εξηγούνται οι έννοιες του mol και της συγκέντρωσης καθώς και της έκφρασης της συγκέντρωσης σε Μοριακότητα (εικόνα 10).



Εικόνα 9: «έννοιες»

Εικόνα 10: εργαλείο « $pH \rightarrow M$ »

Εικόνα 11: «ρύποι»

Στην ενότητα «μετατροπείας $M \rightarrow pH$ »_δίδεται ένα εργαλείο, που μετατρέπει το pH σε συγκέντρωση υδρογονοκατιόντων και αντιστρόφως (εικόνα 11) ώστε να γίνουν ευκολότεροι οι υπολογισμοί και οι συγκρίσεις. Έτσι οι φοιτητές έχουν την ευκαιρία να καταλάβουν τα πραγματικά μεγέθη που αντιπροσωπεύουν οι αλλαγές του pH, δεδομένου ότι η λογαριθμικότητα της κλίμακας συχνά δυσκολεύει στην κατανόηση του πραγματικού μεγέθους των διαφορών.

Η λειτουργική περιοχή «ολοκλήρωση» έχει τρεις ενότητες: «ρύπου», «χάρτες», «κύκλοι».

Οι ενότητες αυτές ανοίγουν σαν ξεχωριστά παράθυρα όπου οπτικοποιούνται οι βασικές πηγές όξινων ρύπων(εικόνα 12), η έκταση του προβλήματος σε παγκόσμια κλίμακα, και οι κύκλοι του νερού του θείου του αζώτου και του άνθρακα.

Πιλοτική εφαρμογή - διαμορφωτική αξιολόγηση

Προκειμένου να εφαρμοστεί το λογισμικό κατασκευάστηκε φύλλο εργασίας. Το φύλλο εργασίας αποτελείται από δύο μέρη: Στο πρώτο μέρος υπάρχουν πίνακες όπου καταγράφονται μετρήσεις. Στο δεύτερο υπάρχουν ερωτήσεις οι οποίες απαντιούνται με βάση τις μετρήσεις των πινάκων.

Το λογισμικό εφαρμόστηκε πιλοτικά σε δύο τμήματα φοιτητών (60 υποκείμενα) στο πλαίσιο του μαθήματος των «Περιβαλλοντικών Επιστημών». Τα φύλλα εργασίας που συμπληρώθηκαν από τους φοιτητές συγκεντρώθηκαν και οι απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν προκειμένου να μελετηθούν καλύτερα και να εξαχθούν συμπεράσματα για τη βελτίωση του λογισμικού. Συμπληρώθηκαν συνολικά 20 φύλλα εργασίας (6 από το πρώτο τμήμα και 14 από το δεύτερο).

Στόχοι αυτής της πιλοτικής εφαρμογής ήταν οι φοιτητές:

1. να μπορούν να δώσουν τον επιστημονικό (κατά Arrénιους) ορισμό των οξέων.
2. να διαπιστώσουν ότι και η καθαρή βροχή είναι όξινη.
3. να διαπιστώσουν ότι η οξύτητά της καθαρής βροχής οφείλεται στο CO_2 της ατμόσφαιρας που διαλύεται στο νερό της δίνοντας H_2CO_3 .
4. να διαπιστώσουν τις χαμηλές τιμές pH που μπορεί να έχει το νερό της όξινης βροχής (και ομίχλης).
5. να διαπιστώσουν ότι η αυξημένη οξύτητα της όξινης βροχής οφείλεται στα οξέα H_2SO_4 , HNO_3 .
6. να διαπιστώσουν πως η διαφορά των δυο περίπου μονάδων στο pH της όξινης από την καθαρή βροχή αντιστοιχεί σε εκατονταπλάσια περίπου οξύτητα.
7. να ανακαλύψουν την διαδικασία που οδηγεί από τους πρωτογενείς ρύπους SO_2 , NO στο σχηματισμό των οξέων H_2SO_4 , HNO_3 . Να ανακαλύψουν δηλαδή, την παραγωγή όξινης βροχής από τους ρύπους της ατμόσφαιρας (μακροσκοπικό φαινόμενο) χρησιμοποιώντας αναπαραστάσεις από τον μικρόκοσμο που προσφέρει το λογισμικό (αντιδράσεις μορίων) και να χρησιμοποιήσουν χημικούς τύπους και εξισώσεις για να την περιγράψουν.
8. έχοντας διαπιστώσει τη διαδικασία σχηματισμού όξινης ομίχλης και βροχής, να είναι ικανοί να συμπεράνουν και τον σχηματισμό των άλλων όξινων κατακρημνίσεων.
9. να παρατηρήσουν ότι ο σχηματισμός της όξινης βροχής οφείλεται και σε φυσικές αιτίες.
10. να παρατηρήσουν τον διασυννοριακό χαρακτήρα του προβλήματος.
11. να ευαισθητοποιηθούν σχετικά με την ανάγκη λήψης μέτρων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Από την μελέτη των συμπληρωμένων φύλλων εργασίας προκύπτουν τα ακόλουθα:

Οι φοιτητές στο σύνολο τους συμπλήρωσαν σωστά το πρώτο μέρος των φύλλων εργασίας (πίνακες παρατήρησης της εξέλιξης του τοπίου) γεγονός που δείχνει ότι κατανόησαν τη βασική δομή του λογισμικού, εκτέλεσαν σωστά τις «μετρήσεις», και παρακολούθησαν την σταδιακή εξέλιξη του προβλήματος. Από όλα τα φύλλα εργασίας, βρέθηκε μόνο μια λάθος μέτρηση στο

pH της καθαρής βροχής. Όσον αφορά τους ειδικότερους στόχους που είχαν τεθεί στην συγκεκριμένη πιλοτική εφαρμογή, από την μελέτη του δεύτερου μέρους των φύλλων εργασίας (ερωτήσεις) εξάγονται τα παρακάτω:

1. Όλοι οι φοιτητές απαντούν σωστά στον ορισμό των οξέων.
2. Η πλειοψηφία των υποκειμένων κάνοντας χρήση του λογισμικού είναι ικανή να αναγνωρίσει πως η καθαρή βροχή έχει pH 5,6 και είναι όξινη (12 φύλλα εργασίας από το δεύτερο τμήμα και όλα από το πρώτο). Παρόλα αυτά δυο ομάδες των δυο ατόμων επιμένουν πως η καθαρή βροχή είναι ουδέτερη και αξιοσημείωτο είναι ότι η μια από τις δύο ομάδες έχει συμπληρώσει σωστά το pH της καθαρής βροχής στον αντίστοιχο πίνακα παρατήρησης.
3. Στη μεγάλη τους πλειοψηφία αναγνωρίζουν σωστά πως η καθαρή βροχή περιέχει H_2CO_3 όμως μόνο δυο φύλλα εργασίας από το πρώτο τμήμα και τέσσερα από το δεύτερο (δηλαδή περίπου το ένα τρίτο των υποκειμένων) το αποδίδουν στο CO_2 της ατμόσφαιρας ενώ οι υπόλοιποι αρκούνται στην παρατήρηση ότι υπήρχε στα σύννεφα και έτσι βρέθηκε στην βροχή και δεν αποπειρώνται να δικαιολογήσουν πως βρέθηκε στα σύννεφα, ή το δικαιολογούν γενικόλογα μιλώντας για αέρια ή ρύπους που αναμίχθηκαν με το νερό των νεφών και της βροχής.
4. Όλοι συμπληρώνουν σωστά το pH της όξινης βροχής
5. Το σύνολο του δεύτερου τμήματος και ποσοστό 50% από το πρώτο αναγνωρίζει σωστά όλα τα οξέα που περιέχονται στην όξινη βροχή. Το 50% των υποκειμένων του πρώτου τμήματος αναγνωρίζουν μόνο το ανθρακικό οξύ και δεν αναγνωρίζουν το θειικό και το νιτρικό οξύ στην όξινη βροχή, προφανώς επειδή δεν βρίσκονται εκεί ως αδιάστατα μόρια.
6. Σε ποσοστό 50% από το πρώτο τμήμα και 86% από το δεύτερο τα υποκείμενα υπολογίζουν σωστά, πως η όξινη βροχή στο συγκεκριμένο μοντέλο που μελετούν περιέχει 70 φορές περισσότερα υδρογονοκατιόντα από την αντίστοιχη καθαρή (3 φύλλα εργασίας από το πρώτο και 12 από την δεύτερο τμήμα). Όμως τα δύο τρίτα περίπου του πρώτου τμήματος και το ένα τρίτο περίπου του δεύτερου, θεωρούν πως η όξινη βροχή είναι «περίπου δύο φορές» πιο όξινη από την καθαρή, πιθανά γιατί ως μέτρο σύγκρισης παίρνουν τη διαφορά του pH (4 φύλλα εργασίας από κάθε τμήμα).
7. Δυο από τις έξι ομάδες του πρώτου τμήματος και επτά από τις δεκατέσσερις του δεύτερου, αποδίδουν την ύπαρξη των οξέων της βροχής στα καυσαέρια ή στην προϋπαρξη τους στα σύννεφα χωρίς να διευκρινίζουν περισσότερο την απάντησή τους, ενώ οι υπόλοιπες αναφέρονται σε χημικές αντιδράσεις χωρίς όμως να χρησιμοποιήσουν χημικές εξισώσεις για την περιγραφή τους.
8. Στην πλειοψηφία τους (όλες οι ομάδες από το πρώτο τμήμα και δεκατρείς από το δεύτερο) συμπεραίνουν σωστά, ότι και οι άλλες κατακρημνίσεις (χιόνι χαλάζι ομίχλη) μπορούν να είναι όξινες, αλλά μόνο οι μισοί (3 ομάδες από το πρώτο τμήμα και επτά από το δεύτερο) δίνουν μια ικανοποιητική αιτιολόγηση. Πάντως είναι ενδιαφέρον πως η μοναδική λάθος απάντηση, αιτιολογείται με τη διατύπωση μιας πραγματικά «επιστημονικής υπόθεσης»: «όχι δεν υπάρχει όξινο χιόνι χαλάζι και ομίχλη διότι για να διαλυθεί το οξύ στην ατμόσφαιρα πρέπει να έχουμε κάποια θερμοκρασία πιο υψηλή από αυτή που έχουμε όταν χιονίζει.».
9. Ολόκληρο το πρώτο τμήμα και η πλειοψηφία από το δεύτερο, ανακαλύπτει σωστά τις ανθρωπογενείς αλλά και τις φυσικές αιτίες της όξινης βροχής, ενώ από τα δεκατέσσερα φύλλα εργασίας του δεύτερου τμήματος σε πέντε αναφέρονται μόνο οι ανθρωπογενείς αιτίες.
10. Όλες πλην μιας, οι ομάδες αναγνωρίζουν τον διασυννοριακό χαρακτήρα του προβλήματος. Μια ομάδα του δεύτερου τμήματος βλέποντας την όξινη βροχή να περιορίζεται σε επίπεδο ηπείρων τη θεωρεί τοπικό κι όχι παγκόσμιο πρόβλημα.

11. Καθ' ολοκληρίαν και από τα δυο τμήματα φανερώνεται ανησυχία για τη λήψη μέτρων προκειμένου να σταματήσει η υποβάθμιση του περιβάλλοντος από την όξινη βροχή.

Αποτελέσματα-Συζήτηση

Η πιλοτική εφαρμογή με υποκείμενα 60 φοιτητές του ΠΤΔΕ Αθήνας έδειξε πως η χρήση του λογισμικού βοήθησε στην διερεύνηση και ανακάλυψη της φύσης και της εξέλιξης του φαινομένου. Η απροθυμία των φοιτητών να περιγράψουν τις χημικές διεργασίες με χρήση εξισώσεων, πιθανά να οφείλεται και στο γεγονός ότι η αντίστοιχη ερώτηση του φύλλου εργασίας ήταν ανοιχτού τύπου και δεν απαιτούσε κάποιο συγκεκριμένο τύπο απάντησης, πιθανά όμως να οφείλεται και στην δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι φοιτητές με την χρήση συμβολισμών από την επιστήμη της χημείας. Σημαντική δυσκολία παρατηρήθηκε και στην κατανόηση της λογαριθμικής φύσης της κλίμακας του pH.

Δεδομένης της ευκολίας με την οποία οι φοιτητές χρησιμοποίησαν το λογισμικό όπως αυτή φαίνεται από την καθολική επιτυχία στην συμπλήρωση των πινάκων παρατήρησης της εξέλιξης του προβλήματος, το λογισμικό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς διδακτικούς στόχους και ανάλογα φύλλα εργασίας στο πλαίσιο προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης της Γ΄ Γυμνασίου και του μαθήματος των Αρχών των Περιβαλλοντικών επιστημών της Β Λυκείου.

Συγκεκριμένα για την Γ΄ Γυμνασίου λαμβάνοντας υπόψη όσα οι μαθητές διδάσκονται στο μάθημα της Χημείας σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα, οι στόχοι θα μπορούσαν να περιοριστούν στον ορισμό της οξύτητας, στην παρακολούθηση της σταδιακής πορείας υποβάθμισης του οικοσυστήματος και της σταδιακής πορείας της γυψοποίησης, στη σύγκριση του pH της όξινης και της καθαρής βροχής, στην ταυτοποίηση των οξέων που περιέχονται στην όξινη βροχή και στο συσχετισμό των όξινων ρύπων με τα οξέα αυτά (αντιστοίχιση οξειδίου με οξύ χωρίς περιγραφή της χημικής διεργασίας).

Για τη Δευτέρα Λυκείου λαμβάνοντας υπόψη όσα οι μαθητές γνωρίζουν από το μάθημα της Χημείας της Α΄ και Β΄ Λυκείου, οι στόχοι μπορούν να είναι παρόμοιοι με τους στόχους που τέθηκαν και στην πιλοτική εφαρμογή, αλλά θα πρέπει να δοθεί περισσότερη έμφαση στη διαδικασία της γυψοποίησης καθώς αυτή αποτελεί το βασικότερο και μοναδικό άλυτο πρόβλημα που η όξινη βροχή προκάλεσε στην πατρίδα μας.

Παραπομπές

- Κατσίκης, Α., Μικρόπουλος, Τ., Χαλκίδης, Α. (1995), Οικολογικές Έννοιες στον Κυβερνοχώρο: Η Πληροφορική στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Β' Πανελλήνιο Συνέδριο, Διδακτική των Μαθηματικών & Πληροφορική στην Εκπαίδευση, 581-590, Λευκωσία.
- Μελάς Δ., Αλεξανδροπούλου Α., Αμοιρίδης Β., Κακαρίδου Μ., Σουλακέλλης Ν. (2000). Ατμοσφαιρική ρύπανση –Οδηγός εκπαιδευτικών. ΥΠΕΠΘ ΕΠΕΑΕΚ 1.1.ΣΤ.1.Γ2 Αθήνα. <http://alkaios.aegean.gr/sppe/plan/planning/documents/step2/Melas1.pdf> ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 22/09/2006.
- Ράπτης Α. & Ράπτη Α. (2001). Μάθηση και Διδασκαλία στην Εποχή της Πληροφορίας. Α. Ράπτης, Αθήνα.
- Σκορδούλης Κ., Σωτηράκου Μ. (2005). Περιβάλλον Επιστήμη και Εκπαίδευση. Leader Books, Αθήνα.
- David Crouch R., Holden M., Samet C. (1996). CAChe Molecular Modeling: A Visualization Tool
- Early in the Undergraduate Chemistry Curriculum. Journal of Chemical Education ,73,916-917.

- Dori Y. & Hameiri M. (2003). Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems:
- Symbol, Macro, Micro, and Process Aspects. *Journal of research in science teaching*, 40, 278–302.
- Dove J. (1996). Student teacher understanding of the greenhouse Effect, Ozone Layer depletion and Acid rain. *Environmental Education Research*, 2, 89-100.
- Eichler M., el Pino J., Fagundes L. (2004). Development of cognitive conducts during a computer simulated environmental analysis. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5, 157-174.
- Eichler M., Xavier P., Araujo R., Forte R., Del Pino J. (2005). *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 24, 43-72.
- Frear V. & Hirschbuhl J. (1999). Does interactive multimedia promote achievement and higher level thinking skills for today's science students?. *British Journal of Educational Technology*, 30, 323-329.
- Hand B. (1989). Student understandings of acids and bases: a two year study. *Research in Science Education*, 19, 133 – 144.
- Harrison R. (1999). *Understanding our environment : an introduction to environmental chemistry and pollution*. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Hillman M, Stanisstreet M., Boyes E. (1996). Enhancing Understanding in Student Teachers: the case of auto-pollution. *Journal of Education for Teaching*, 22, 311-325.
- Khalid T. (2003). Pre-service High School Teachers Perceptions of Three Environmental Phenomena. *Environmental Education Research*, 9, 36-50.
- Kozma R.B. (1999). Students collaborating with computer models and physical experiments. *Computer Support for Collaborative Learning*. Proceedings of the 1999 conference on Computer support for collaborative learning. Ηλ. διεύθ: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1150240.1150279&coll=ACM&dl=ACM&CFID=15151515&CFTOKEN=6184618> ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης 2-2-07.
- Kozma, R.B. (2000). The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry. In M. Jacobson & R. Kozma (Eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning* (pp. 11-46). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Larssen T., Lydersen E., Tang D., He Y., Gao J., Liu H., Duan L., Seip H., Vogt R., MuLder J., Shao M., Wang Y., Shang H., Zhang X., Solberg S., Aas W., ØkLand T., EiLerTsen O., Angel V., Liu Q., Zhao D., Xiang R., Xiao J., Luo J. (2006). Acid rain in China. *Environmental Science & Technology*, 40, 418-425.
- Ophardt Ch. (2003). Acid rain. Virtual ChemBook Elmhurst College. Ηλ. διεύθ: <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/194acidraineffects.html> ημερομηνία τελευταίας προσπέλασης: 22-09-2006.
- Ouertatani L., Dumon A., Trabelsi M., Soudani M. (2006). Acids and bases: the appropriation of the arrhenius model by tunisian grade 10 students. *International Journal of Science and Mathematics Education*.
- O'Day D. (2006). Animated Cell Biology: A Quick and Easy Method for Making Effective, High-Quality Teaching Animations. *CBE Life Sci Educ.*, 5, 255–263.