Μια ολοκληρωμένη διδακτική προσέγγιση της όξινης βροχής

Στούμπα Αρτεμησία[1], Κωνσταντίνος Σκορδούλης[2]
1.Εκπαιδευτικός ΠΕ19, Μ. Ed., Υπ. Διδάκτορας Περιβαλλοντικών Επιστημών
artemis.stoumpa@gmail.com
2. Καθηγητής ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου. Αθηνών
Πανεπιστήμιο Αθηνών, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εργαστήριο Διδακτικής & Επιστημολογίας Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ
Στο άρθρο που ακολουθεί περιγράφεται μια «ολοκληρωμένη διδακτική προσέγγιση» του προβλήματος της όξινης βροχής, που έχει σχεδιαστεί για την εκπαίδευση στις περιβαλλοντικές επιστήμες φοιτητών μελλοντικών δασκάλων βασικής εκπαίδευσης. Η προσέγγιση χαρακτηρίζεται ως ολοκληρωμένη γιατί προσεγγίζει το φαινόμενο σε μικροσκοπική, μακροσκοπική, και πολύ μεγάλη κλίμακα με τη βοήθεια εκπαιδευτικού λογισμικού, ενώ παράλληλα προσφέρει και τη δυνατότητα άμεσης διερεύνησης του φαινομένου σε μακροσκοπική κλίμακα (ανθρώπινη κλίμακα) μέσω κλασικού εργαστηρίου χημείας. Η προσέγγιση εφαρμόστηκε πιλοτικά στα πλαίσια του μαθήματος των Περιβαλλοντικών Επιστημών σε ένα εργαστηριακό τμήμα που αποτελούνταν από 29 φοιτητές μελλοντικούς δασκάλους και η μελέτη των δεδομένων που συλλέχθηκαν, μας έδειξε πως ο συνδυασμός κλασικού πειράματος και οπτικοποίησης βελτιστοποιεί τα μαθησιακά αποτελέσματα. Με βάση τα αποτελέσματα, η προσέγγιση βελτιώθηκε και ένας καινούργιος κύκλος διαμορφωτικής αξιολόγησης σχεδιάστηκε.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: *όξινη βροχή, υποψήφιοι δάσκαλοι, εκπαιδευτικό υλικό.*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ
…..Τα τελευταία χρόνια η εισαγωγή των περιβαλλοντικών επιστημών στην εκπαίδευση των δασκάλων παρουσιάζει παγκοσμίως μεγάλο ενδιαφέρον (Comeaux & Huber 2001, Gayford 2002, Bell 2003, Gough et al. 2005, Constible et al. 2007, Marsh 1976, Brown 2000, Veal et al. 2002).Οι περιβαλλοντικές επιστήμες στην πραγματικότητα είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που αντλεί έννοιες και αναπαραστάσεις από τις φυσικές αλλά και τις κοινωνικές επιστήμες προκειμένου να εξηγήσει τον πολιτισμικό-φυσικό χώρο που κατοικούμε και τον τρόπο που αλληλεπιδρούμε με αυτόν: διαμορφούμενοι από αυτόν αλλά και προκαλώντας πάνω του δραματικές αλλαγές (Edelson 2007, Anderson 2007). Ως εκ τούτου, η εισαγωγή των νέων δασκάλων στις περιβαλλοντικές επιστήμες είναι ένα απαιτητικό αλλά και ενδιαφέρον έργο.

…..Το εργαστήριο διδακτικής και Επιστημολογίας των Φυσικών Επιστημών και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, είναι υπεύθυνο για την εκπαίδευση των φοιτητών του, μελλοντικών δασκάλων, σε θέματα Περιβαλλοντικής Επιστήμης στην εκπαίδευση, και για την ανάπτυξη αντίστοιχου εκπαιδευτικού υλικού όταν αυτό δεν υπάρχει ώστε να καλύπτονται οι εκπαιδευτικές ανάγκες. Στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης του σύγχρονου περιβαλλοντικού προβλήματος, το

2006 αποφασίσθηκε πως θα έπρεπε να αναπτυχθεί διδακτικό υλικό για την εργαστηριακή προσέγγιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Μανδρίκας κ.α. 2007). Το υλικό θα χρησίμευε για την διδακτική παρέμβαση του προβλήματος, στα πλαίσια του μαθήματος των Περιβαλλοντικών Επιστημών που ήταν υποχρεωτικό μάθημα για τους τριτοετείς φοιτητές του τμήματος. Ένα σημαντικό κομμάτι του υλικού αυτού καθορίστηκε να αφορά την όξινη βροχή. Το πρόβλημα της όξινης βροχής κρίθηκε σημαντικό κι επομένως απαραίτητο να προσεγγισθεί εργαστηριακά, για τέσσερις κυρίως λόγους:

- ✓ Η όξινη βροχή έχει πλήξει την πολιτισμική κληρονομιά της Ελλάδας προκαλώντας ανεπανόρθωτες ζημιές σε μερικά από τα πιο αξιόλογα μνημεία μας όπως είναι οι Καρυάτιδες.
- ✓ Η αντιμετώπιση του προβλήματος με τη συνεργασία μεταξύ των χωρών στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική έχει φέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα (Jenkins et all 2003, Wright et. all 2007, Smith et all 2001), επομένως η όξινη βροχή αποτελεί ένα καλό παράδειγμα των αποτελεσμάτων που η συλλογική δράση και η διεθνής συνεργασία μπορούν να φέρουν.
- ✓ Η όξινη ρύπανση εξακολουθεί να αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για περιοχές με αναπτυσσόμενες οικονομίες όπως η Ασία (Smith et all 2000)
- ✓ Η όξινη βροχή αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τόσο της πολυπλοκότητας των περιβαλλοντικών προβλημάτων, που δεν είναι αμιγώς επιστημονικά προβλήματα αλλά περιέχουν μια ισχυρή κοινωνική συνιστώσα, όσο και της ανάγκης για διαρκή έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογιών που λαμβάνουν σοβαρά υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος.

Αρχικά θέσαμε τρεις βασικούς άξονες – στόχους για τη διδακτική παρέμβαση:

- ➢ Την εξέλιξη του φαινομένου της όξινης βροχής στην Ευρώπη, και τα προβλήματα που έχει προκαλέσει.
- ➢ Τις διαδικασίες σχηματισμού της όξινης βροχής, και τους πρωτογενείς ρύπους που είναι υπεύθυνοι για το σχηματισμό της.
- ➢ Τον καθοριστικό ρόλο που η αντίδραση οξέος / ασβεστολιθικού πετρώματος παίζει στην προστασία των οικοσυστημάτων, και την υποβάθμιση της πολιτισμικής κληρονομιάς.

…..Το υλικό που θα προέκυπτε και η διδακτική παρέμβαση μέσα στην οποία θα το αξιοποιούσαμε, θα έπρεπε ιδανικά να καλύπτουν τους τρεις αυτούς στόχους. Λαμβάνοντας υπόψη την διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις των φοιτητών σχετικά με το φαινόμενο και τις βασικές επιστημονικές έννοιες που εμπεριέχει και τη διεθνή πείρα σχετικά με τη διδασκαλία παρομοίων φαινομένων που η εξήγησή τους εκτείνεται σε πολύ μικρές, ή / και πολύ μεγάλες κλίμακες, αποφασίσαμε να κατασκευάσουμε εκπαιδευτικό λογισμικό για την όξινη βροχή (Στούμπα κ.α. 2007). Το λογισμικό αποφασίσαμε να χρησιμοποιεί αναπαραστάσεις από τη γλώσσα της επιστήμης για να ερμηνεύει την δημιουργία και εξέλιξη του φαινομένου. Λέγοντας γλώσσα της επιστήμης εννοούμε τα σύμβολα τις έννοιες τα μοντέλα τα διαγράμματα κι όλα γενικά τα εργαλεία που η επιστήμη κατά την ιστορική εξέλιξή της μέσα στο χρόνο, έχει αναπτύξει ώστε να ερμηνεύει και να περιγράφει τον κόσμο (Wellingthon & Osborne 2001, Leach & Scott 2005, Wertch 1991). Θέλοντας το εκπαιδευτικό λογισμικό που θα δημιουργηθεί να είναι όσο πιο στενά συνδεμένο γίνεται με την διδακτική πράξη και να ανταποκρίνεται όσον το δυνατόν καλύτερα στις πραγματικές συνθήκες του εργαστηρίου, αποφασίσαμε να ακολουθήσουμε σε γενικές γραμμές τη μεθοδολογία Μελέτης Ανάπτυξης. Η Μελέτη

Ανάπτυξης είναι ερευνητική μέθοδος κατασκευής διδακτικού υλικού που είναι προσανατολισμένη στη χρηστικότητα: -το υλικό που σχεδιάζεται, μετριέται, κατά πόσο είναι «πρακτικό» για τους χρήστες σε πραγματικές συνθήκες- και υλοποιείται μέσα από τα εξής στάδια: (Van den Akker 2008)

- Προκαταρκτική έρευνα, όπου γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική (και όχι μόνο) ανασκόπηση ώστε να διερευνηθούν τόσο οι ιδιαιτερότητες του θέματος που πρόκειται να προσεγγίσουμε, όσο και να εντοπιστούν άλλες παραδειγματικές λύσεις σε παρόμοια θέματα. Στο τέλος αυτής της φάσης οι βασικές αρχές σχεδίασης θα πρέπει να έχουν διευκρινιστεί.
- Πρωτότυποποίηση, στην πραγματικότητα αυτό το στάδιο είναι ένας επαναλαμβανόμενος κύκλος όπου διαδοχικά πρωτότυπα σχεδιάζονται δημιουργούνται, αξιολογούνται, επανεξετάζονται και διορθώνονται, παράγοντας έτσι το επόμενο πρωτότυπο.
- Συνολική αξιολόγηση, όπου το τελικό εκπαιδευτικό υλικό αξιολογείται.
- Συστηματικός ανά-στοχασμός και τεκμηρίωση ολόκληρης της μελέτης.

Το πρώτο εκπαιδευτικό λογισμικό για την όξινη βροχή (πρώτο πρωτότυπο), αρχικά δοκιμάστηκε το χειμερινό εξάμηνο του 2006-2007 (Στούμπα κ.α. 2007). Κατόπιν μελέτης των δεδομένων της πρώτης αυτής πιλοτικής, το λογισμικό βελτιώθηκε (οπότε προέκυψε το δεύτερο πρωτότυπο) και παράλληλα σχεδιάστηκε πειραματική δραστηριότητα (σε κλασικό εργαστήριο χημείας) για την προσέγγιση της όξινης βροχής. Έτσι προέκυψε μια «ολοκληρωμένη διδακτική προσέγγιση της όξινης βροχής». Η ολοκληρωμένη αυτή διδακτική προσέγγιση, περιγράφεται στην παρούσα εργασία.

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΌΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

Δεδομένου ότι η διδακτική προσέγγιση σχεδιαζόταν για να εφαρμοστεί στα πλαίσια συγκεκριμένου μαθήματος, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του διδακτικού χρόνου, αποφασίσαμε να εστιάσουμε στους δυο τελευταίους άξονες-στόχους :τη διδασκαλία του σχηματισμού της όξινης βροχής, και τη διδασκαλία του διπλού ρόλου της αντίδρασης οξέος / ασβεστολιθικού πετρώματος στην αλληλεπίδραση της όξινης βροχής με το περιβάλλον. Τον πρώτο άξονα -στόχο θεωρήσαμε ότι δεν ήταν δυνατό να τον προσεγγίσουμε στα χρονικά πλαίσια της διδακτικής παρέμβασης που θα ακολουθούσε.

Η διδακτική προσέγγιση αποτελούνταν από δύο βασικές δραστηριότητες: δραστηριότητα διερεύνησης του φαινομένου της όξινης βροχής με τεχνικές κλασικού εργαστηρίου χημείας και δραστηριότητα διερεύνησης του προβλήματος μέσω εκπαιδευτικού λογισμικού. Η πρώτη αποσκοπούσε στην μακροσκοπική διερεύνηση του φαινομένου όσο αυτό είναι δυνατόν με τα μέσα που διαθέτει το εργαστήριό μας. Η δεύτερη αποσκοπούσε στην αναπαράσταση του φαινομένου σε μικροσκοπική κλίμακα, αλλά και σε πολύ μεγάλη κλίμακα κάτι που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί στο κλασικό εργαστήριο χημείας. Βέβαια το μακροσκοπικό επίπεδο δεν έλειπε από το λογισμικό, καθώς είναι απαραίτητο για την ολοκληρωμένη αναπαράσταση του φαινομένου. Σκοπός μας ήταν οι δυο δραστηριότητες να δράσουν συμπληρωματικά ως εξής:

- Διαδικασίες που περιλαμβάνονταν στο λογισμικό και ήταν δυνατό να αναπαραχθούν στο εργαστήριο να προσεγγιστούν διπλά: δηλαδή και μέσω του κλασικού πειράματος, ώστε οι φοιτητές να έχουν μια άμεση εμπειρία - αντίληψη, και μέσω του λογισμικού ώστε οι φοιτητές να έχουν μια ολοκληρωμένη αντίληψη για το πώς οι διεργασίες αυτές εξελίσσονται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα και σε πολύ

μεγάλες κλίμακες χώρου όπως είναι το φυσικό περιβάλλον. Παράδειγμα τέτοιας διαδικασίας αποτελεί ο σχηματισμός του θειικού οξέος.

- Διαδικασίες που δεν είναι δυνατό να αναπαραχθούν στο εργαστήριο να μελετηθούν μέσω του λογισμικού, όπως για παράδειγμα η παραγωγή νιτρικού οξέος.
- Διεργασίες που δεν περιλαμβάνονταν στο λογισμικό και ήταν δυνατό να δοκιμασθούν στο κλασικό εργαστήριο να εισαχθούν στη διδακτική παρέμβαση μέσω κλασικού πειράματος. Παραδείγματα τέτοιων διεργασιών είναι ο ρόλος του πετρώματος για την προστασία των επιφανειακών υδάτων από την οξίνηση, και η αλληλεπίδραση των οξέων με υλικά διαφορετικά από το μάρμαρο.

Παρακάτω περιγράφονται οι δύο δραστηριότητες:

Δραστηριότητα κλασικού εργαστηρίου χημείας.

Στο εργαστήριο χημείας οι φοιτητές:

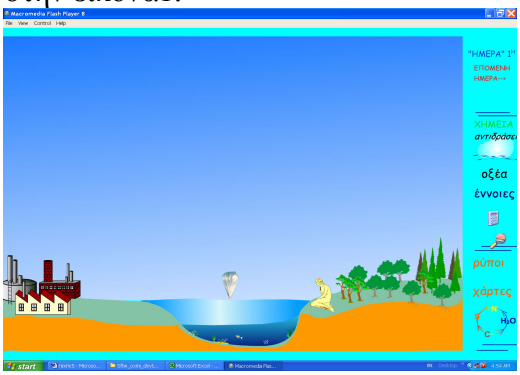
✓ Παρακολούθησαν την σταδιακή δημιουργία θειικού οξέος. Φροντίσαμε ώστε η διαδικασία να είναι τέτοια που να φανερώνει την μεγάλη σημασία των άλλων ρύπων (πέρα από τους πρωτογενείς όξινους ρύπους) για την δημιουργία του φαινομένου και να βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία ως προς τα βήματα της αντίδρασης, με την αντίστοιχη αναπαράσταση που προσφέρει το εκπαιδευτικό λογισμικό. Έτσι αρχικά δημιουργήσαμε θειώδες οξύ με την καύση θειου πάνω από φιάλη ύδατος, και κατόπιν με την προσθήκη σταγόνας διαλύματος υπεροξειδίου του υδρογόνου, το οξειδώσαμε σε θειικό οξύ. Στο αρχικό νερό είχε προστεθεί δείκτης κόκκινο λάχανο που προσφέρει έντονες χρωματικές αλλαγές σε όλη την κλίμακα του pH, ώστε να μπορούν οι φοιτητές να παρακολουθούν τις μεταβολές της οξύτητας. Οι φοιτητές συζητούσαν και κατέγραφαν τις παρατηρήσεις τους.

✓ Δοκίμασαν την επίδραση των οξέων σε διάφορα υλικά από την καθημερινή ζωή όπως μάρμαρο, πορσελάνη, κιμωλία, γυαλί, μεταλλικά αντικείμενα (συνδετήρες, πρόκες κ.α.), μέταλλα (ψευδάργυρος, σίδηρος), ασβεστολιθικούς σχηματισμούς έμβιων οργανισμών (κέλυφος αυγού, κοχύλι).

✓ Δοκίμασαν την αλληλεπίδραση των οξέων με τους δυο βασικούς τύπους πετρωμάτων –ασβεστολιθικά πετρώματα, πυριτικά πετρώματα-.

Δραστηριότητα εργαστηρίου Πληροφορικής.

Στο εργαστήριο πληροφορικής, οι φοιτητές χρησιμοποίησαν το εκπαιδευτικό λογισμικό (δεύτερο πρωτότυπο), που κατασκευάστηκε από την ερευνητική ομάδα. Το λογισμικό αναπαρίστανε τη σταδιακή εξέλιξη ενός τοπίου – μοντέλου υπό την επίδραση της όξινης βροχής. Στο τοπίο μοντέλο απεικονίζεται ένα μη αστικό τοπίο όπου υπάρχουν ένα δάσος μια λίμνη ένα άγαλμα, κι ένα εργοστάσιο όπως φαίνεται στην εικόνα1.



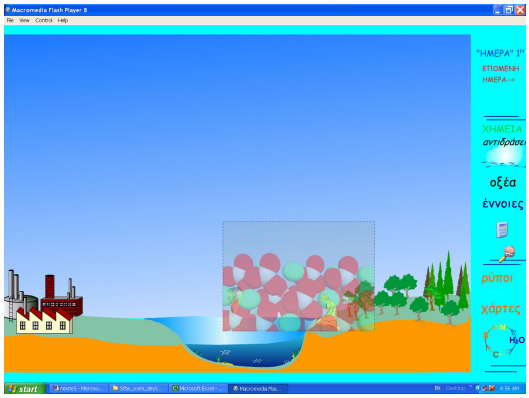
Εικόνα 1

Εικόνα 2

Οι φοιτητές μπορούσαν να παρατηρούν αλλαγές που συμβαίνουν σε πολύ μεγάλη

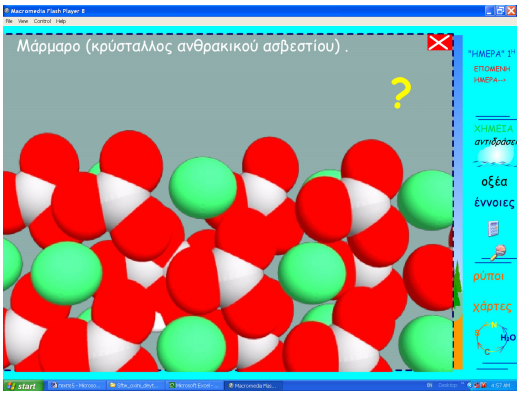
κλίμακα -χωρική και χρονική- και να «μετράνε» φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως την περιεκτικότητα του αέρα σε όξινους ρύπους και διοξείδιο του άνθρακα, το pH του νερού της λίμνης, τη σύσταση του νερού της βροχής και των νεφών, τη σύσταση των απαερίων της καμινάδας (εικόνα 2). Παράλληλα στους φοιτητές δινόταν η δυνατότητα να εστιάζουν στον μικρόκοσμο παρατηρώντας τη μικροσκοπική δομή σημαντικών στοιχείων του τοπίου όπως τα καθαρά και όξινα σύννεφα, η καθαρή και όξινη βροχή, οι ανθρώπινες κατασκευές (εικόνες 3,4,5).

Εικόνα 3

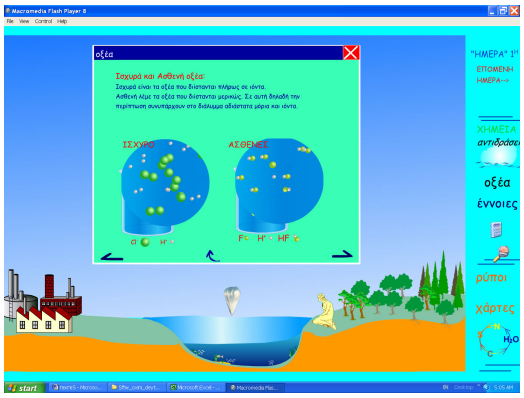


Εικόνα 4

Επίσης τους δινόταν η ευκαιρία μέσω μιας ειδικής οθόνης να εστιάσουν στις διαδικασίες σχηματισμού της όξινης βροχής και υποβάθμισης της πολιτισμικής κληρονομιάς σε μοριακή κλίμακα. Τέλος μια σειρά βοηθητικών εργαλείων που παρείχε το πρόγραμμα, έδινε στους φοιτητές την ευκαιρία να θυμηθούν έννοιες της επιστήμης -οξύ οξύτητα pH κτλ- (εικόνα 6) που σχετίζονται με την ερμηνεία του φαινομένου, αλλά και να δουν χάρτες διαγράμματα και απεικονίσεις που βοηθούν σε μια ολοκληρωμένη κατανόηση του προβλήματος -βασικοί γεωχημικοί κύκλοι, χάρτες αναπαράστασης εξέλιξης του προβλήματος κ.τ.λ.-.



Εικόνα 5



Εικόνα 6

ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η πιλοτική εφαρμογή της παραπάνω ολοκληρωμένης εκπαιδευτικής προσέγγισης έγινε κατά το εαρινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2006-2007 στο πλαίσιο του μαθήματος «Περιβαλλοντικές Επιστήμες» σε είκοσι εννέα (29) υποψήφιους /ες δασκάλους /ες – φοιτητές /τριες του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών Η εφαρμογή έγινε σε μία τρίωρη συνάντηση και η κάθε δραστηριότητα (κλασικό εργαστήριο, και εργαστήριο πληροφορικής) διάρκεσε μιάμιση περίπου ώρα. Κατά τη διάρκεια και των δυο δραστηριοτήτων της πιλοτικής εφαρμογής, οι φοιτητές συμπλήρωναν φύλλα

εργασίας.

Τα φύλλα εργασίας της δραστηριότητας κλασικού εργαστηρίου, παρείχαν στους φοιτητές πίνακες για να καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους για τις αλληλεπιδράσεις των διαφόρων υλικών με τα οξέα, αλλά και ανοιχτές ερωτήσεις όπου οι φοιτητές καλούνταν να εξάγουν συμπεράσματα για την αλληλεπίδραση της όξινης βροχής με το περιβάλλον στηριγμένοι στις πιο πάνω παρατηρήσεις.

Στα φύλλα εργασίας της δραστηριότητας διερεύνησης του προβλήματος μέσω του εκπαιδευτικού λογισμικού, οι φοιτητές καλούνταν να παρακολουθούν να «μετράνε» και να καταγράφουν τις μεταβολές στις μακροσκοπικές και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των διαφόρων βασικών στοιχείων που απάρτιζαν το τοπίο μοντέλο (σύννεφα, αέρας, δέντρα, βροχή, άγαλμα, λίμνη). Επίσης καλούνταν να ανακαλύψουν την αιτία του προβλήματος και τον τρόπο που εξελίσσεται. Καλούνταν δηλαδή να κάνουν συσχετισμούς ανάμεσα στα αέρια που βγάζει η καμινάδα, τη μεταβολή στις περιεκτικότητες των αερίων στην ατμόσφαιρα, τη 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. Η επιστημονική εξήγηση όλων των παραπάνω αναφερθέντων που οι φοιτητές καλούνταν να ανακαλύψουν, περιλαμβάνει πολύπλοκες χημικές διαδικασίες. Με δεδομένο ότι στην πρώτη πιλοτική εφαρμογή του λογισμικού υπήρξε κάποια δυσκολία στη χρήση συμβόλων και χημικών εξισώσεων για την περιγραφή τους (Στούμπα κ.α. 2007), στο φύλλο εργασίας της πιλοτικής εφαρμογής που περιγράφουμε στο παρών άρθρο, συμπεριλάβαμε σχήματα που διευκόλυναν την παρατήρηση και καταγραφή των σημαντικότερων βημάτων των παραπάνω διαδικασιών.

Επιπλέον, σχεδιάσαμε ποστ -τεστ που οι φοιτητές τα απάντησαν (ο καθένας μόνος του) αφού είχαν ολοκληρώσει τις δυο δραστηριότητες, δηλαδή την εφαρμογή του λογισμικού και την πειραματική διαδικασία. Σκοπός μας ήταν να ελέγξουμε πως οι φοιτητές δόμησαν την καινούργια γνώση που τους προσφέρθηκε μέσω των δυο δραστηριοτήτων. Στα ποστ-τεστ υπήρχαν δυο ανοιχτές ερωτήσεις όπου δινόταν η ευκαιρία στους φοιτητές συνδυάζοντας τη γνώση που απέκτησαν στις δυο δραστηριότητες να εκθέσουν τη γνώμη τους για τη δημιουργία της όξινης βροχής και τον τρόπο που διαφορετικά περιβάλλοντα επηρεάζονται από την όξινη βροχή.

Προκειμένου να αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για τον τρόπο που λειτούργησε το διδακτικό υλικό που κατασκευάσαμε και η διδακτική παρέμβαση εν συνόλω, αποφασίσαμε να μελετήσουμε τα ποστ - τεστ αλλά και τα φύλλα εργασίας. Αφού μελετήσαμε αρχικά τα φύλλα εργασίας και των δυο δραστηριοτήτων και είδαμε ότι γενικά οι φοιτητές τις ολοκλήρωσαν και τις δυο παίρνοντας σωστές μετρήσεις και πραγματοποιώντας παρατηρήσεις που ήταν πολύ κοντά στο επιδιωκόμενο, αποφασίσαμε να εστιάσουμε την μελέτη μας σε ερωτήσεις που είχαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς ξεπερνούσαν την απλή μέτρηση ή παρατήρηση και ζητούσαν πρόβλεψη ή εξήγηση σχετικά πολύπλοκων καταστάσεων και φαινομένων, ή απαιτούσαν κατανόηση συμβολισμών και αναπαραστάσεων από την επιστήμη (μοντέλα που οπτικοποιούν πολύπλοκες χημικές διεργασίες ή χημικές έννοιες), ή δίνανε την ευκαιρία στους φοιτητές να χρησιμοποιήσουν τη γλώσσα της επιστήμης (τύπους, σύμβολα, έννοιες, εξισώσεις) στο βαθμό που εκείνοι ένοιωθαν ότι μπορούν και θέλουν να το κάνουν. Παρακάτω αναφέρουμε τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στα οποία εστιάσαμε και για τα δυο φύλλα εργασίας.

Στη μελέτη των φύλλων εργασίας του λογισμικού αποφασίσαμε να εστιάσουμε στα εξής:

- Κατά πόσο οι φοιτητές αναγνωρίζουν ποια ουσία ευθύνεται για την οξύτητα της καθαρής βροχής
- Κατά πόσο οι φοιτητές αναγνωρίζουν ποιες ουσίες ευθύνονται για την μεγάλη οξύτητα της όξινης βροχής.
- Αν συμπληρώνουν σωστά τα σχήματα που παριστάνουν τις διαδικασίες σχηματισμού των οξέων θειικό και νιτρικό, και τη διαδικασία της γυψοποίησης.
- Κατά πόσο χρησιμοποιούν χημικά σύμβολα και εξισώσεις για να περιγράψουν τις παραπάνω διαδικασίες τόσο όταν περιγράφουν τις διεργασίες που συμβαίνουν στο συγκεκριμένο τοπίο μοντέλο που μελετάνε μέσω του λογισμικού, όσο κι όταν καλούνται να γενικεύσουν τις παρατηρήσεις τους ή να ερμηνεύσουν παρόμοια προβλήματα.

Στα πλαίσια της αξιολόγησης του λογισμικού (2° στάδιο στη Μελέτη Ανάπτυξης) τα παραπάνω αποτελούν ενδείξεις για το αν το λογισμικό βοήθησε τους φοιτητές στην κατανόηση των διαδικασιών που εμπλέκονται στη δημιουργία και εξέλιξη του φαινομένου και στην εξοικείωση με τη γλώσσα της επιστήμης.

Από τα φύλλα εργασίας του εργαστηρίου χημείας, αποφασίσαμε να εστιάσουμε τη μελέτη μας:

- Στον τρόπο που οι φοιτητές κατανοούν το ρόλο της αντίδρασης πετρώματος – οξέος για το περιβάλλον.

Σκοπός μας ήταν να εξετάσουμε αν η εισαγωγή στο κλασικό εργαστήριο των δυο χαρακτηριστικών ειδών πετρωμάτων (ασβεστολιθικού όπου η αντίδραση είναι έντονη και πυριτικού όπου η αντίδραση είναι ελάχιστη –πρακτικά ανύπαρκτη-), ήταν αρκετή για να τους βοηθήσει να εκτιμήσουν την σημασία της αντίδρασης για το οικοσύστημα. Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι το φύλλο εργασίας του εργαστηρίου χημείας είναι πολύ καθοδηγητικό σε αυτό το σημείο, οδηγώντας τους σταδιακά από την παρατήρηση της αντίδρασης (οξέος / ασβεστολιθικού πετρώματος) που ξεκινάει με έντονο βρασμό, στην παρατήρηση της εξουδετέρωσης της οξύτητας του υπερκείμενου υγρού μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου, και τέλος στην σημασία που μπορεί να έχει αυτή η μεταβολή της οξύτητας για το οικοσύστημα. Επίσης οι φοιτητές μελετούν σε μοριακό - ιοντικό επίπεδο την αλληλεπίδραση οξέος πετρώματος όταν εστιάζουν την γυψοποίηση του μαρμάρινου αγάλματος στο λογισμικό.

…..Παρακάτω παρουσιάζονται σύντομα τα αποτελέσματα της μελέτης των συμπληρωμένων φύλλων εργασίας του λογισμικού, του κλασικού πειράματος, αλλά και των ποστ-τεστ.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μελέτη των φύλλων εργασίας του εργαστηρίου υπολογιστών:

…..Συνολικά πήραμε 14 φύλλα εργασίας: από 13 ομάδες των 2 ατόμων κι ένα από μια ομάδα των τριών. Από τη μελέτη των φύλλων εργασίας του λογισμικού προκύπτουν:

…..Όλοι εκτός από μια δυάδα αναγνωρίζουν το ανθρακικό οξύ μέσα στην καθαρή βροχή (εικ. 7), όμως τέσσερις ομάδες (8 υποκείμενα) αναφέρουν το όξινο ανθρακικό ιόν και το υδρογονοκατιόν σαν να πρόκειται για ξεχωριστά οξέα -σαν να μην προέρχονται από το ανθρακικό οξύ- (πίνακας 1).

Πίνακας 1: Τι περιέχει η καθαρή βροχή

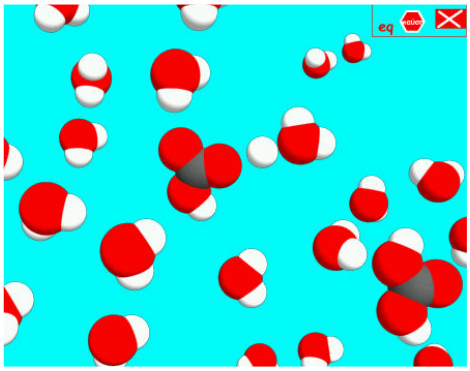
	Η καθαρή βροχή περιέχει H_2CO_3	Το H^+ και το HCO_3^{-1} στο νερό της καθαρής βροχής προέρχονται από το H_2CO_3
Σωστή απάντηση	13 φύλλα εργασίας	10 φύλλα εργασίας
Λάθος απάντηση	1 φύλλα εργασίας	4 φύλλα εργασίας

Στη συντριπτική τους πλειοψηφία οι φοιτητές (11 φύλλα εργασίας) αναγνωρίζουν τα οξέα νιτρικό και θειικό μέσα στην όξινη βροχή (εικ. 8) και αποδίδουν σε αυτά τη μεγάλη οξύτητά της. Σε δυο φύλλα εργασίας οι φοιτητές αναφέρουν τα ιόντα που βλέπουν στην μικροσκοπική αναπαράσταση της όξινης βροχής, χωρίς να τα αποδίδουν σε αντίστοιχα ισχυρά οξέα, Αυτά τα δυο φύλλα εργασίας αποδίδουν την οξύτητα της όξινης βροχής στο ανθρακικό οξύ που το αναγνωρίζουν καθώς υπάρχει μέσα στο νερό της ως αδιάστατο μόριο. Τέλος μια ομάδα προφανώς δεν εστίασε καθόλου στον μικρόκοσμο γιατί αναφέρει οξείδια του αζώτου και του θείου και καθόλου κάτι από όσα αναπαρίστανται στην αντίστοιχη κινούμενη εικόνα (πίν. 2).

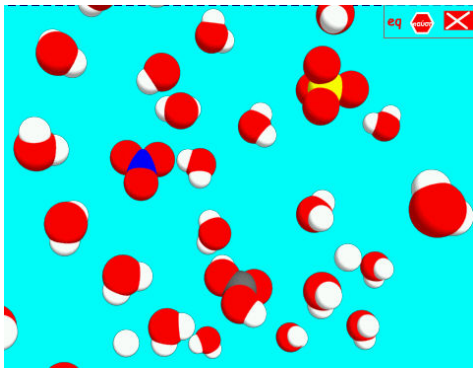
Πίνακας 2: Γιατί η όξινη βροχή είναι τόσο πολύ όξινη

Όξινη Βροχή: Η οξύτητα της όξινης βροχής οφείλεται στα οξέα:		
HNO_3 και H_2SO_4	H_2CO_3	NOx και SO_2
11 φύλλα εργασίας	2 φύλλα εργασίας	1 φύλλο εργασίας

.



Εικόνα 7



Εικόνα 8

Όσον αφορά τη συμπλήρωση των σχημάτων που παριστάνουν τις διαδικασίες σχηματισμού των οξέων θειικό και νιτρικό και της γυψοποίησης, έχουμε να παρατηρήσουμε ότι οι φοιτητές τα πήγαν πολύ καλά συμπληρώνοντας στη μεγάλη τους πλειοψηφία πολύ ικανοποιητικά τα σχήματα αυτά. Επίσης σε όλα τα φύλλα εργασίας οι φοιτητές κάνουν χρήση χημικών τύπων όταν συμπληρώνουν τα σχήματα, αν και στην πλειοψηφία τους χρησιμοποιούν εναλλασσόμενα (κι όχι επεξηγηματικά) τύπους και λέξεις στο ίδιο σχήμα. Ακόμη, εννέα ομάδες τολμούν να κάνουν χρήση χημικών εξισώσεων, κυρίως σε ερωτήσεις ανοιχτού τύπου όταν πρέπει να εξηγήσουν, να αιτιολογήσουν ή να περιγράψουν μια κατάσταση ή μια διαδικασία. Και οι επτά από τις εννέα αυτές ομάδες, καταφέρνουν να χρησιμοποιήσουν επιτυχώς μια τουλάχιστον (ή και περισσότερες) εξισώσεις.

Μελέτη των φύλλων εργασίας του κλασικού εργαστηρίου:

Η εργαστηριακή άσκηση για να διεκπεραιωθεί μέσα στη μιάμιση ώρα, απαιτούσε

καταμερισμό εργασίας και συνεργασία περισσοτέρων των δυο ατόμων. Έτσι τα φύλλα εργασίας του εργαστηρίου τα συμπλήρωσαν επτά ομάδες συνολικά (έξι των 4ων και μια των 5 υποκειμένων). Προκειμένου να βεβαιωθούμε ότι οι ομάδες θα κάνανε μεν καταμερισμό εργασίας, αλλά θα συνεργάζονταν τα μέλη μεταξύ τους έτσι ώστε τελικά όλοι να έχουν παρακολουθήσει ολόκληρη την πορεία της δουλειάς, φροντίσαμε οι ασκήσεις να είναι τέτοιες που να μην διεκπεραιώνονται ανεξάρτητα η μια από την άλλη. Από τα συμπληρωμένα φύλλα εργασίας εξάγουμε τα εξής:
…..Γενικά οι ομάδες εκτελέσανε τα πειράματα και παρακολούθησαν την αλληλεπίδραση των οξέων με τα διάφορα υλικά, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3: Οι παρατηρήσεις των φοιτητών για την αλληλεπίδραση του οξέος με τα διάφορα

υλικό	καταγραφή σημείων αντίδρασης με το οξύ
μάρμαρο	7 φύλλα εργασίας
πορσελάνη	0 φύλλα εργασίας
κιμωλία	7 φύλλα εργασίας
γυαλί	0 φύλλα εργασίας
μεταλλικά αντικείμενα	0 φύλλα εργασίας
μέταλλα	1 φύλλα εργασίας
κέλυφος αυγού	5 φύλλα εργασίας
κοχύλι	5 φύλλα εργασίας

Ειδικότερα όσον αφορά την αλληλεπίδραση των οξέων με τους διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων από τα φύλλα εργασίας, εξάγεται ότι (πίν. 4).

Όλες οι ομάδες παρατηρήσανε την αντίδραση του οξέος με το ασβεστολιθικό πέτρωμα (μάρμαρο).

Έξι από τις επτά ομάδες παρατηρήσανε αύξηση του pH κατά δύο περίπου μονάδες στο υπερκείμενο όξινο διάλυμα του ασβεστολιθικού πετρώματος, ενώ και στις έξι αυτές ομάδες το αντίστοιχο pH του υπερκείμενου υγρού του πυριτικού πετρώματος παρέμεινε σταθερό. Οι πέντε από τις έξι αυτές ομάδες διατυπώνουν την άποψη ότι λίμνες με ασβεστολιθικό υπέδαφος έχουν περισσότερες πιθανότητες να διατηρήσουν ζωή σε περίπτωση παρατεταμένης προσβολής από όξινη ρύπανση. Όμως η μια από τις έξι ομάδες εκφράζει το φόβο πως το ασβεστολιθικό υπέδαφος κινδυνεύει από διάβρωση η οποία θα οδηγήσει σε καθίζηση με καταστροφικά για το οικοσύστημα αποτελέσματα. Μια ομάδα μέτρησε αύξηση του pH στο υπερκείμενο υγρό του πυριτικού και όχι του ασβεστολιθικού πετρώματος (πιθανά μπερδέψανε τα πεχαμετρικά χαρτάκια), με αποτέλεσμα να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η λίμνη με πυριτικό υπέδαφος είναι πιο φιλόξενη για τους έμβιους οργανισμούς σε περίπτωση όξινης βροχής, ενώ παράλληλα η ίδια ομάδα εκφράζει και φόβο για καθίζηση του εδάφους όταν το υπέδαφος είναι ασβεστολιθικό.

Πίνακας 4*:* Η αλληλεπίδραση του οξέος με το πετρωμα και οι συνέπειες για το φυσικό περιβάλλον. (με V σημειώνονται οι ομάδες που εξέφρασαν αυτή την άποψη με X οι ομάδες που δεν την εξέφρασαν)

Ομάδα/ μέλη	Η οξύτητα είναι μεγαλύτερη στο υπερκείμενο υγρό του πετρώματος:	Υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης όταν το υπέδαφος είναι ασβεστολιθικό	Σε περίπτωση όξινης βροχής θα διατηρηθεί η ζωή σε λίμνες με υπέδαφος
1 / 4	πυριτικού	V	ασβεστολιθικό
2 / 4	πυριτικού	X	ασβεστολιθικό
3 / 5	πυριτικού	X	ασβεστολιθικό

4 / 4	ασβεστολιθικού	V	πυριτικό
5 / 4	πυριτικού	X	ασβεστολιθικό
6 / 4	πυριτικού	X	ασβεστολιθικό
7 / 4	πυριτικού	X	ασβεστολιθικό

Μελέτη των ποστ τεστ.

…..Το ποστ - τεστ περιέχει δυο ερωτήσεις ανοιχτού τύπου. Η πρώτη ερώτηση, παίρνοντας αφορμή από την όξινη βροχή που είχε εμφανιστεί στην πόλη της Αθήνας τις δεκαετίες 1960-1980, ζητάει από τους φοιτητές να εξηγήσουν τη δημιουργία της όξινης βροχής. Οι φοιτητές απαντούν στην ερώτηση ως εξής:

…..Στη μεγάλη τους πλειοψηφία περιγράφουν τη δημιουργία της όξινης βροχής σαν πολύπλοκες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Οι υπόλοιποι την περιγράφουν σαν ανάμειξη - «επαφή» (πιν. 5).

***Πίνακας 5**:* Περιγραφή του σχηματισμού της όξινης βροχής.

Περιγραφή διαδικασίας σχηματισμού όξινης βροχής σαν:	
Αντίδραση	Ανάμειξη – «Επαφή»
21 φύλλα εργασίας	8 φύλλα εργασίας

…..Δεκατέσσερα (από τα 29) υποκείμενα, κατονομάζουν το διοξείδιο του θείου (ή γενικότερα τα οξείδια του θείου) ως πρωτογενή όξινο ρύπο, και δώδεκα τα οξείδια του αζώτου. Τρεις φοιτητές κατονομάζουν τα οξείδια του άνθρακα ως αρχικούς (πρωτογενείς) ρύπους. Εννέα φοιτητές αναφέρονται γενικά σε αέρια, καυσαέρια ρύπους, ενώ τρεις αναφέρουν τα οξέα θειικό και νιτρικό σαν πρωτογενείς ρύπους που εκπέμπονται από τις καύσεις (πιν. 6).

***Πίνακας 6**:* Πρωτογενείς όξινοι ρύποι

Πρωτογενείς όξινοι ρύποι					
CO_2-CO	SO_2	NOx	H_2SO_4	HNO_3	αέρια-ρύποι
3 φύλλα εργασίας	14 φύλλα εργασίας	12 φύλλα εργασίας	3 φύλλα εργασίας	3 φύλλα εργασίας	9 φύλλα εργασίας

…..Τέλος, η πλειοψηφία (16 υποκείμενα) ονομάζει το θειικό οξύ και περίπου οι μισοί (13 υποκείμενα) το νιτρικό οξύ ως ουσίες υπεύθυνες για την μεγάλη οξύτητα της όξινης βροχής (πιν. 7).

***Πίνακας 7**:* Δευτερογενείς ρύποι (ισχυρά οξέα).

Ισχυρά οξέα που περιέχει η όξινη βροχή				
H_2SO_4	HNO_3	«θειώδες και νιτρώδες οξύ»	«αέρια»	δεν κατονομάζουν
16 φύλλα εργασίας	13 φύλλα εργασίας	1 φύλλο εργασίας	1 φύλλο εργασίας	11 φύλλο εργασίας

…..Η δεύτερη ερώτηση του ποστ-τεστ ζητάει από τους φοιτητές να περιγράψουν τα προβλήματα που θα αντιμετωπίσουν δυο περιοχές με διαφορετικό υπέδαφος (ασβεστολιθικό και πυριτικό) σε περίπτωση προσβολής από όξινη βροχή. Τους ζητάει επίσης να κατονομάσουν ομοιότητες και διαφορές που σύμφωνα με τη δική τους αντίληψη θα υπάρξουν. Σκοπός της ερώτησης αυτής είναι να διερευνήσει κατά πόσο οι φοιτητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις πειραματικές παρατηρήσεις, αλλά

(πιθανά) και την αντίδραση της γυψοποίησης που μελετήσανε στο λογισμικό, για να προβλέψουν τη διαφορετική ευαισθησία των οικοσυστημάτων στην όξινη ρύπανση. Από τις απαντήσεις των φοιτητών (πιν. 8) βλέπουμε ότι περίπου οι μισοί (13 υποκείμενα) αντιλαμβάνονται την ευεργετικό ρόλο της αντίδρασης για το οικοσύστημα, και δεκατρία υποκείμενα (αλλά όχι οι ίδιοι 13), παρατηρούν ότι σε μια χώρα με ασβεστολιθικό υπέδαφος είναι λογικό να υπάρχουν πολλά κτήρια και μνημεία από μάρμαρο και άλλα ασβεστολιθικά υλικά οπότε θα υποστεί μεγαλύτερη φθορά το πολιτισμικό της περιβάλλον σε περίπτωση όξινης ρύπανσης. Δεκαπέντε υποκείμενα θεωρούν ότι τα βασικά περιβαλλοντικά προβλήματα είναι ίδια για όλες τις περιοχές σε περίπτωση όξινης βροχής και δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Ως τέτοια αναφέρουν την αύξηση της οξύτητας του χώματος την καταστροφή δέντρων και δασών, την οξίνηση του νερού λιμνών και επιφανειακών υδάτων, την καταστροφή της ζωής σε λίμνες και άλλα παρόμοια οικοσυστήματα. Ενδιαφέρον είναι ότι, δεκαεννέα υποκείμενα ανησυχούν για διάβρωση των πετρωμάτων στην περιοχή με ασβεστολιθικό υπέδαφος, και έξι από αυτούς καθιστούν σαφές ότι θεωρούν πως αυτό θα έχει αρνητικές συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον (κυρίως φοβούνται καθίζηση του εδάφους που πιστεύουν ότι θα επιφέρει σοβαρές συνέπειες στο οικοσύστημα).

Πίνακας 8: Ο ρόλος του υπεδάφους στην αλληλεπίδραση της όξινης βροχής – περιβάλλοντος

Συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον				Συνέπειες στην πολιτισμική κληρονομιά	
Κοινές ανεξαρτήτως υπεδάφους	Μεγαλύτερες όταν το υπέδαφος είναι πυριτικό	Μεγαλύτερες όταν το υπέδαφος είναι ασβεστολιθικό	Διάβρωση ασβεστολιθικού υπεδάφους	Κοινές ανεξαρτήτως υπεδάφους	Μεγαλύτερες όταν το υπέδαφος είναι ασβεστολιθικό
15 φύλλα εργασίας	13 φύλλα εργασίας	1 φύλλα εργασίας	19 φύλλα εργασίας	6 φύλλα εργασίας	13 φύλλα εργασίας

.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

…..Στο κλασικό εργαστήριο χημείας, βλέπουμε δυο ομάδες (8 υποκείμενα) να εστιάζουν στην «καταστροφή» του ασβεστολιθικού υλικού από το οξύ, πράγμα που κατά την άποψη τους μπορεί να βλάψει το οικοσύστημα (πίνακας 4). Η εντύπωση αυτή βλέπουμε να επανέρχεται πολύ ενισχυμένη στο ποστ – τεστ (πίνακας 8). Έτσι ενώ στο καθοδηγητικό φύλλο εργασίας του εργαστηρίου οι φοιτητές «ανακαλύπτουν» την εξουδετέρωση της οξύτητας από το ασβεστολιθικό πέτρωμα, και συμπεραίνουν την επιβίωση της ζωής σε λίμνες με αντίστοιχο υπέδαφος, στο ποστ - τεστ η εικόνα της διάβρωσης και της καταστροφής είναι εκείνη που επικρατεί και αναφέρεται από τους φοιτητές. Καθώς η εντύπωση της διάβρωσης επικρατεί, η ευεργετική επίδραση της αντίδρασης οξέος / ασβεστολιθικού πετρώματος φαίνεται να παραγνωρίζεται ή να υποτιμάται. Στη πραγματικότητα η εξουδετέρωση του οξέος είναι αυτή που παίζει καθοριστικό ρόλο προστατεύοντας τα οικοσυστήματα, ενώ η «καταστροφή» ενός μέρους του αποσαθρωμένου ασβεστολιθικού πετρώματος είναι πρακτικά ασήμαντη για τα οικοσυστήματα.

…..Η αλληλεπίδραση οξέος / πετρώματος συμβαίνει σε πολύ μεγάλη κλίμακα χώρου και χρόνου, αλλά ερμηνεύεται σε μικροσκοπικό επίπεδο (χημική αντίδραση). Η παραπάνω ανάλυση των αποτελεσμάτων μας δείχνει ότι η διερεύνηση της αντίδρασης από τους φοιτητές σε ενδιάμεση κλίμακα (κλασικό εργαστήριο) δεν κατάφερε να τους

προσφέρει ολοκληρωμένη αντίληψη για το πώς αυτή εκτυλίσσεται στην πολύ μεγάλη κλίμακα του φυσικού περιβάλλοντος, πιθανά γιατί δεν μπόρεσαν να σχηματίσουν μια σαφή εικόνα των σχετικών μεγεθών. Έτσι έγινε φανερό πως έπρεπε να συμπεριληφθεί η οπτικοποίηση και αυτής της διαδικασίας σε μικροσκοπική μακροσκοπική και πολύ μεγάλη κλίμακα στο εκπαιδευτικό λογισμικό (στο επόμενο πρωτότυπο).

…..Παρόλα αυτά παρατηρούμε ότι, γενικά οι φοιτητές ήταν ικανοί να περιγράψουν τις αρνητικές επιδράσεις της όξινης βροχής στο φυσικό περιβάλλον, έστω κι αν δεν μπορούσαν να διακρίνουν πόσο αυτές επηρεάζονται από τη ρυθμιστική δράση του πετρώματος. Ακόμη οι φοιτητές περιέγραψαν στην πλειοψηφία τους με επιτυχία τη διαδικασία δημιουργίας της όξινης βροχής (πίνακας 5), ενώ αρκετοί δίνουν και λεπτομέρειες για τη διαδικασία αυτή (πίνακες 6,7). Τέλος η πλειοψηφία αναφέρθηκε στην καταστροφή των μαρμάρινων κυρίως μνημείων, παρόλο που μερικοί αντιλήφθηκαν ότι είναι πιθανότερο να υπάρχουν περισσότερα τέτοια μνημεία σε χώρες που διαθέτουν αυτό το υλικό στο υπέδαφος ενώ μερικοί όχι (πίνακας 8). Οι δυο αυτές διαδικασίες (σχηματισμός όξινης βροχής και γυψοποίηση του μαρμάρου), κατά την διδακτική παρέμβαση προσεγγίστηκαν και στις δυο δραστηριότητες δηλαδή και στο κλασικό εργαστήριο αλλά και μέσω του λογισμικού. Επομένως η ολοκληρωμένη διδακτική προσέγγιση αποδεικνύεται επιτυχής, τουλάχιστον στα πλαίσια της συγκεκριμένης πιλοτικής έρευνας.

…..Παίρνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω αναφερθέντα, θεωρήσαμε ότι μπορούσαμε να κρατήσουμε τον βασικό κορμό της ολοκληρωμένης προσέγγισης, βελτιώνοντας την ώστε:

- Να καλύπτει και τον πρώτο διδακτικό στόχο: Μελέτη της εξέλιξης του προβλήματος στην περιοχή μας –Ευρώπη-.
- Να οπτικοποιεί σε μικροσκοπική και πολύ μεγάλη κλίμακα το ρυθμιστικό ρόλο του πετρώματος για την προστασία του οικοσυστήματος.

…..Έτσι δημιουργήθηκε το τρίτο πρωτότυπο του λογισμικού, και μια βελτιωμένη πειραματική δραστηριότητα. Η καινούργια διδακτική προσέγγιση που προέκυψε, δοκιμάστηκε το ακαδημαϊκό έτος 2007-08 και τα πρώτα αποτελέσματα από την ανάλυση μέρους των δεδομένων (που δεν είναι δυνατό να περιγραφούν εδώ) είναι αρκετά ικανοποιητικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anderson C.W., Abdel-Kareem H., Chen J., Carolan A., Cho I.-Y., Covitt B., Foster A., Gallagher J., Gunckel K., Hawkins L. M., Jin H., Sharma A., Tsurusaki B., Wilson C., Zesaguli J. & Piety P. (2006), *Environmental literacy blueprint*, University of Michigan, *στη διεύθυνση*
http://edr1.educ.msu.edu/EnvironmentalLit/PublicSite/Html/Blueprint.htm

Brown F. (2000), The Effect of an Inquiry-Oriented Environmental Science Course on Preservice Elementary Teachers' Attitudes about Science. *Journal of Elementary Science Education*, 12, 2, σελ.1-6

Comeaux P., Huber R. (2001), Students as Scientists: Using Interactive Technologies and Collaborative Inquiry in an Environmental Science Project for Teachers and Their Students, *Journal of Science Teacher Education*, 12, 4, σελ.235-252

Constible J.M., McWilliams R.G., Soldo E.G., Perry B.E., Lee R.E. Jr. (2007), An Immersion Professional Development Program in Environmental Science for

Inservice Elementary School Teachers, *Journal of Geoscience Education*, 55, 1, σελ. 72-79
Edelson D. (2007) Environmental Science for all? Considering Environmental Science for inclusion in the high School Core Curriculum *Science Educator* 16,1, σελ. 42-56.
Gayford C. (2002), Controversial environmental issues: a case study for the professional development of science teachers, *Internat. Journal of Science Education*, 24, 11, σελ. 1191 – 1200
Gough A., Sharpley B. (2005), Toward Effective Teaching and Learning: stories of primary schools' environmental science interest and action, *Educational Action Research*, 13, 2, σελ. 191-212
Jenkins A. Camarero L. Cosby B Ferrier R Forsius M. Helliwell R. Kopacek J. Majer V. Moldan F. Posch M. Rogora M. Schopp W. Wright R. (2003) A modelling assessment of acidification and recovery of European surface waters *Hydrology and Earth System Sciences* 7(4), σελ..447-455
Marsh J.A. (1976), The Preparation of Teachers for Environmental Science, *The South Pacific Journal of Teacher Education*, 4, 2, σελ. 109-117
Leach j, Scott Ph. (2005). *Perspectives on designing and evaluating science teaching*. In *Pedagogy – Learning for Teaching*. Tomilson P., Dockrell J., Wine Ph. BJEP Monograph Series II, 3. The British Psycological Society Leicester LEI 7DR, UK σελ.175
Smith S., Pitcher H., Wigley T.(2001). Global and regional anthropogenic sulfur dioxide emissions *Global and Planetary Change* 29 σελ..99–119
Van den Akker J. Kuiper W. (2008) *Research on models for instructional desig*n. In *Handbook of Research on Educational Comunications and Technology* third edition by Spector J., Merrill D., Van Merienboer J., Driscoll M. σελ. 739-748
Veal W.R., Kubasko D.S. Jr., Fullagar P. (2002). Web Based Course on Earth and Environmental Science for Preservice and Inservice Teachers, *Journal of Science Teacher Education*, 13, 2, σελ.131-146
Wellington J. (2001). *Language and Literacy in Science Education*. Open University Press Buckingham Philadelphia σελ. 6
Wertsch J. (1991) *Voices of the mind A sociocultural approach to mediated action*. Harvard University Press Cambridge, Massachusetts. σελ.. 93-118
Wright R, Jack Cosby B. Skjelkvale B.(2007) Review of the Gothenburg Protocol: Chemical and biological responses in surface waters and soil. *ICP waters reports 89/2007. Norwegian Institute for water Research.*
Μανδρίκας Α., Παρκοσίδης Ι., Στούμπα Α., Αντωνοπούλου Μ., Τσιλίδης Μ., Χαλκίδης Α., Σκορδούλης Κ. (2007), «Διδακτική πρόταση για την εκπαίδευση εκπαιδευτικών για την αειφορία: η περίπτωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης» *εισήγηση στο 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΠΕΕΚΠΕ με θέμα «ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ: ΚΟΙΝΩΝΙΑ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ», που έγινε στις 9-11/11/2007 στην Αθήνα*
Στούμπα Α., Χαλκίδης Α. Σκορδούλης Α. (2007). Σχεδιασμός εκπαιδευτικού λογισμικού για την όξινη βροχή *Πρακτικά του 5ου πανελλήνιου συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση»*