Η κατασκευή μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων από τους μαθητές ως δείκτης της εννοιολογικής κατανόησης στη χημεία.

Γκίτζια Βασιλική[1], Σάλτα Κατερίνα[2], Τζουγκράκη Χρύσα[3]

[1] Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, *v_gitzia@yahoo.com*
[2] Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, *ksalta@chem.uoa.gr*
[3] Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, *tzougraki@chem.uoa.gr*

Περίληψη
Στην παρούσα έρευνα μελετήσαμε την ικανότητα μαθητών να μεταφράζουν μακροσκοπικές αναπαραστάσεις σε αντίστοιχες μικροσκοπικές και συμβολικές. Χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο της προσωπικής ημιδομημένης συνέντευξης σε δείγμα 16 μαθητών Β΄ τάξης Λυκείου. Στους μαθητές δείξαμε φωτογραφίες 6 υλικών και τους ζητήσαμε να κατασκευάσουν αντίστοιχες σωματιδιακές αναπαραστάσεις και να αποδώσουν τα χημικά τους σύμβολα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ικανότητα των μαθητών να συνδέουν μακροσκοπικές αναπαραστάσεις με αντίστοιχες μικροσκοπικές και συμβολικές είναι περιορισμένη. Η κατασκευή αναπαραστάσεων από τους μαθητές μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση της εννοιολογικής τους κατανόησης και στην αποκάλυψη πιθανών παρανοήσεων.

Abstract
In this study, we investigated students' ability to translate macroscopic representations into equivalent submicroscopic and symbolic ones. We used the semi-structured interview technique and our sample was 16 Greek students of 11th Grade. Pictures of 6 materials were shown to students and they were asked to construct the corresponding particulate drawings and write down their chemical symbols. Our results indicate that students' performance in linking macroscopic representations to submicroscopic and symbolic ones is poor. Student-generated representations can be used to evaluate conceptual understanding and to reveal existing misconceptions.

Εισαγωγή

Η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνει την ικανότητα να σκέφτεται το άτομο ταυτόχρονα σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο και να είναι σε θέση να «μεταφράζει» χημικές αναπαραστάσεις από το ένα επίπεδο στο άλλο (Kozma & Russell 2005, Cheng & Gilbert 2009). Η μετάφραση μεταξύ των χημικών αναπαραστάσεων είναι μια διαδικασία επεξεργασίας πληροφοριών, η οποία απαιτεί την κατανόηση των χημικών εννοιών σε τέτοιο βαθμό, ώστε το άτομο, αφενός, να μπορεί να ερμηνεύσει τις πληροφορίες που παρέχει μια αναπαράσταση και, αφετέρου, να μπορεί να συμπεράνει τις πληροφορίες που απαιτούνται για να κατασκευάσει μια άλλη ισοδύναμη αναπαράσταση. Η ικανότητα αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα μέτρο του βαθμού ουσιαστικής κατανόησης των χημικών εννοιών. Στην παρούσα έρευνα (Γκίτζια 2013) μελετήσαμε την

ικανότητα μαθητών Β΄ τάξης Λυκείου να μεταφράζουν μακροσκοπικές αναπαραστάσεις σε αντίστοιχες μικροσκοπικές και συμβολικές.

Μεθοδολογία

Χρησιμοποιήθηκε ποιοτική μεθοδολογία με εργαλείο την προσωπική ημιδομημένη συνέντευξη–σε δείγμα 16 μαθητών δύο Γενικών Λυκείων της Ελλάδας (Creswell & Plano Clark 2011). Από τους μαθητές αυτούς οι 7 είχαν επιλέξει θετική κατεύθυνση, οι 3 τεχνολογική και οι 6 θεωρητική. Η συνέντευξη ήταν δομημένη ως εξής: Δείξαμε στους μαθητές μία σειρά φωτογραφιών (μακροσκοπικές αναπαραστάσεις) 6 υλικών και τους ζητήσαμε να σχεδιάσουν πώς φαντάζονται τα σωματίδια για το κάθε ένα (μικροσκοπική αναπαράσταση), να περιγράψουν τις σωματιδιακές αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν, να εξηγήσουν πώς σκέφτηκαν και να γράψουν πώς συμβολίζεται το κάθε υλικό στη χημεία. Τα υλικά που δείξαμε στους μαθητές συνιστούν παραδείγματα βασικών χημικών εννοιών και είναι τα εξής: 1) μεταλλικό νάτριο (χημικό στοιχείο σε στερεή κατάσταση), 2) οξυγόνο (διατομικό στοιχείο σε αέρια κατάσταση), 3) χλωριούχο νάτριο (ιοντική ένωση σε στερεή κατάσταση), 4) νερό (ομοιοπολική ένωση σε υγρή κατάσταση, 5) υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου (διάλυμα ιοντικής ένωσης) και 6) υδατικό διάλυμα οξυγόνου (διάλυμα χημικού στοιχείου).

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της έρευνας αποκάλυψαν σημαντικές δυσκολίες των μαθητών γενικά με το μάθημα της χημείας, αλλά και συγκεκριμένες παρανοήσεις για το κάθε ένα υλικό. Μερικοί μαθητές δεν αντιλαμβάνονται ότι τα υλικά αποτελούνται από σωματίδια (άτομα, μόρια ή ιόντα). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένας μαθητής όταν του ζητήθηκε να απεικονίσει τα σωματίδια στο μεταλλικό νάτριο σχεδίασε μία συμπαγή επιφάνεια ή ένας άλλος μαθητής όταν ρωτήθηκε τι θα βλέπαμε εάν μπορούσαμε να δούμε τα σωματίδια στο αέριο οξυγόνο απάντησε ότι δεν θα βλέπαμε τίποτα. Συναφές εύρημα με το παραπάνω αποτελεί το γεγονός ότι πολλοί μαθητές αποδίδουν μακροσκοπικές ιδιότητες στα σωματίδια. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι τα σωματίδια του υλικού έχουν χρώμα και μάλιστα το ίδιο με αυτό του υλικού. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μερικοί μαθητές δεν θεωρούν ότι το σχήμα των ατόμων είναι απαραίτητα σφαιρικό, αλλά θα μπορούσε να είναι τετράγωνο ή ωοειδές.

Στις συνεντεύξεις φάνηκε καθαρά ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να περιγράψουν λεκτικά τις μικροσκοπικές και τις συμβολικές αναπαραστάσεις που κατασκευάζουν και παράλληλα έχουν μεγάλη δυσκολία να χρησιμοποιήσουν κατάλληλους χημικούς όρους, όπως «άτομο», «μόριο», «ιόν», κτλ. Για παράδειγμα, για το μεταλλικό νάτριο σχεδιάζουν ένα είδος κύκλων το οποίο ονομάζουν «μόριο νατρίου» ή «στοιχείο νατρίου» κ.α.

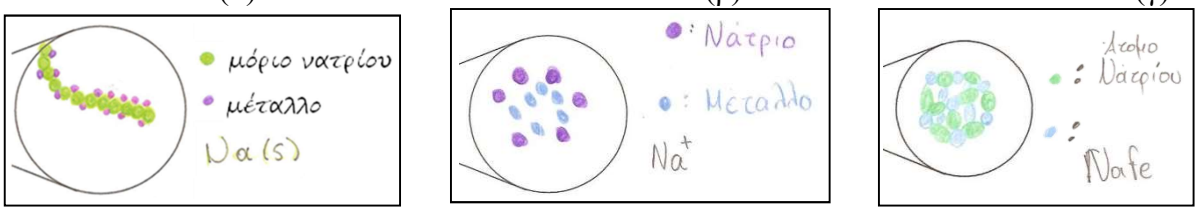
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στη μικροσκοπική και τη συμβολική αναπαράσταση που σχεδιάζουν οι μαθητές για ένα υλικό. Κάποιοι μαθητές σχεδίασαν για το μεταλλικό νάτριο δύο είδη σωματιδίων, αλλά στο συμβολισμό χρησιμοποίησαν μόνο το σύμβολο του νατρίου. Χαρακτηριστικό είναι επίσης ότι σχεδόν όλοι οι μαθητές έγραψαν τον σωστό μοριακό τύπο για το νερό (H_2O), αλλά λιγότεροι από τους μισούς σχεδίασαν σωστά μόρια. Συνεπώς, σε πολλές περιπτώσεις οι μαθητές δεν συσχετίζουν το μικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο της χημείας και μάλιστα δεν αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ τους.

Συναφές με το παραπάνω είναι το εύρημα ότι σε πολλές περιπτώσεις οι μαθητές ενώ γνωρίζουν το μοριακό τύπο μίας ένωσης αδυνατούν να τον ερμηνεύσουν. Για παράδειγμα, γράφουν τον μοριακό τύπο του νερού (H_2O) ή του οξυγόνου (O_2), αλλά δεν μπορούν εξηγήσουν ποια είναι η σημασία του δείκτη «2». Μάλιστα ισχυρίζονται ότι απλώς έχουν μάθει τους τύπους απ' έξω! Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η απομνημόνευση και η

αναπαραγωγή συμβόλων δεν συμβαδίζει απαραίτητα με την αντίστοιχη εννοιολογική κατανόηση, ακόμα και σε πολύ απλές έννοιες όπως είναι οι μοριακοί τύποι.
Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικά ευρήματα για κάθε ένα υλικό:
Για το στερεό μεταλλικό νάτριο, οι συνεντεύξεις και οι αναπαραστάσεις που κατασκεύασαν οι μαθητές αποκάλυψαν τις εξής παρανοήσεις: α) Απεικονίζουν το μεταλλικό νάτριο με 2 είδη κύκλων, γιατί όπως εξηγούν, η λέξη «μεταλλικό» υποδηλώνει την παρουσία ενός δεύτερου συστατικού, εκτός από το νάτριο, στο οποίο οφείλονται οι μεταλλικές ιδιότητες του υλικού (Εικόνες 1α, 1β και 1γ). β) Θεωρούν ότι το υλικό αυτό αποτελείται από ιόντα, αντί για άτομα. γ) Μερικοί μαθητές δεν έχουν την επιστημονική αντίληψη ότι στη στερεή κατάσταση τα σωματίδια βρίσκονται σε πυκνή διάταξη μεταξύ τους. Αναφορικά με τον συμβολισμό του μεταλλικού νατρίου, πολλοί μαθητές δεν γνώριζαν το σωστό σύμβολο για τη στερεή κατάσταση. Κάποιες εναλλακτικές απαντήσεις που σημειώθηκαν είναι οι εξής: «Na ↓», «Na^+», «NaFe» ή « Na_3».

Εικόνα 1: Παραδείγματα μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων που κατασκεύασαν οι μαθητές για το μεταλλικό νάτριο.

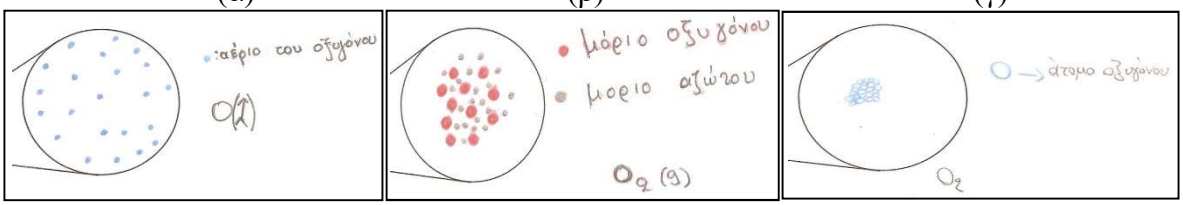
(α) (β) (γ)



Για το αέριο οξυγόνο, οι σημαντικότερες παρανοήσεις που αναδύθηκαν είναι οι εξής: α) Το οξυγόνο αποτελείται από ξεχωριστά άτομα και όχι από μόρια, διότι όπως εξήγησαν όταν τα σωματίδια είναι ενωμένα μεταξύ τους τότε το υλικό είναι είτε στερεό είτε υγρό (Εικόνα 2α). β) Διαπιστώθηκε σύγχυση ανάμεσα στον ατμοσφαιρικό αέρα και το οξυγόνο, καθώς μερικοί μαθητές υποστήριξαν ότι το μπαλόνι περιέχει μόρια οξυγόνου και μόρια αζώτου (Εικόνα 2β). γ) Τα σωματίδια του οξυγόνου βρίσκονται σε πυκνή διάταξη μεταξύ τους (Εικόνα 2γ). Αναφορικά με τη συμβολική αναπαράσταση του οξυγόνου, διαπιστώθηκε ότι πολλοί μαθητές δεν γνώριζαν είτε τον σωστό μοριακό τύπο είτε το σύμβολο για την αέρια κατάσταση. Κάποιες λανθασμένες απαντήσεις που σημειώθηκαν είναι οι παρακάτω: «O_2↑», «O», «O↑» ή «O^2» .

Εικόνα 2: Παραδείγματα μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων που κατασκεύασαν οι μαθητές για το αέριο οξυγόνο.

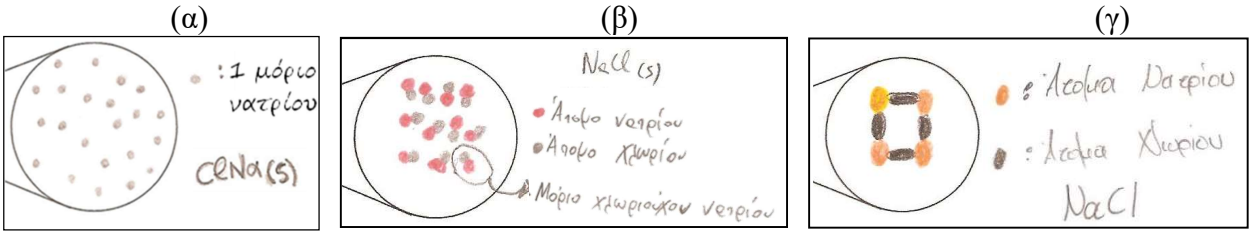
(α) (β) (γ)



Για το χλωριούχο νάτριο αποκαλύφθηκε ότι: α) Αρκετοί μαθητές απεικονίζουν το υλικό αυτό με 1 είδος κύκλων, το οποίο σε συνδυασμό με τις συνεντεύξεις τους δείχνει ότι δεν έχουν την επιστημονική αντίληψη ότι οι χημικές ενώσεις σχηματίζονται με την ένωση ατόμων ή ιόντων (Εικόνα 3α). β) Μερικοί δεν μπορούν να διακρίνουν τους ιοντικούς από τους ομοιοπολικούς

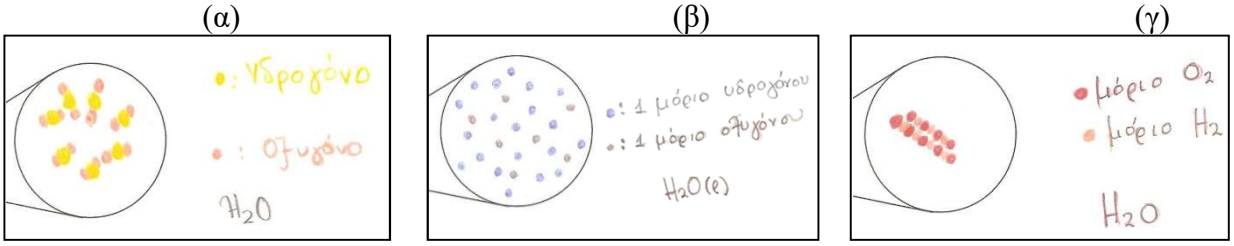
δεσμούς, θεωρώντας ότι το χλωριούχο νάτριο αποτελείται από μόρια (Εικόνα 3β). γ) Κάποιοι άλλοι μπερδεύονται με τη μορφή των κόκκων και θεωρούν είτε ότι τα σωματίδια δεν είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, συγκριτικά με πιο συμπαγείς μορφές όπως το μεταλλικό νάτριο, είτε ότι το χλωριούχο νάτριο δεν είναι στερεό υλικό. δ) Κάποιοι άλλοι θεωρούν ότι τα άτομα του νατρίου ενώνονται με τα άτομα του χλωρίου με αναλογία 4 προς 4 σχηματίζοντας τετράγωνες δομές (Εικόνα 3γ). Προβλήματα παρατηρήθηκαν και με τον συμβολισμό του υλικού. Κάποιες λανθασμένες απαντήσεις που σημειώθηκαν είναι οι εξής: «NaCℓ ↓», «CℓNa$_{(s)}$», «NaCℓ$_{2(s)}$», «Cℓ, Na», «HℓNa» ή «CHNa».

Εικόνα 3: Παραδείγματα μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων που κατασκεύασαν οι μαθητές για το χλωριούχο νάτριο.



Παρανοήσεις σημειώθηκαν και για την περισσότερο γνωστή στους μαθητές χημική ένωση, το νερό: α) Μερικοί σχεδίασαν τα μόρια με αντίστροφη αναλογία ατόμων υδρογόνου-οξυγόνου (Εικόνα 4α). β) Μερικοί υποστήριξαν ότι στις χημικές ενώσεις τα άτομα δεν είναι ενωμένα μεταξύ τους, αλλά συνυπάρχουν (όπως σε ένα μείγμα) (Εικόνα 4β). γ) Κάποιοι σχεδίασαν σωματίδια με πυκνή διάταξη μεταξύ τους (Εικόνα 4γ). Στην κατασκευή της συμβολικής αναπαράστασης οι περισσότεροι μαθητές έγραψαν τον σωστό μοριακό τύπο «H_2O», αλλά μόνο οι μισοί γνώριζαν το σύμβολο «ℓ» για την υγρή κατάσταση.

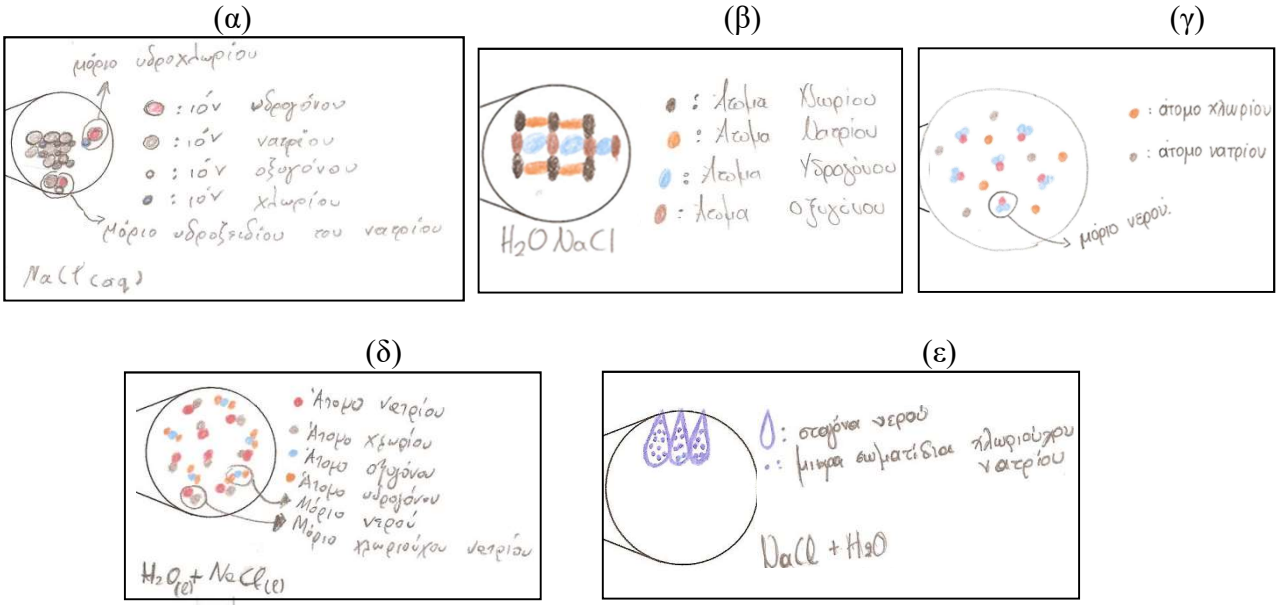
Εικόνα 4: Παραδείγματα μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων που κατασκεύασαν οι μαθητές για το νερό.



Για το υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου οι σημαντικότερες παρανοήσεις που ανευρέθηκαν είναι οι εξής: α) Κατά τον σχηματισμό ενός υδατικού διαλύματος συμβαίνει χημική αντίδραση (π.χ. κατά τη διάλυση χλωριούχου νατρίου στο νερό παράγονται υδροχλώριο και υδροξείδιο του νατρίου) (Εικόνα 5α). β) Κατά τη διάλυση τα μόρια του νερού ενώνονται με τα μόρια της διαλυμένης ουσίας και σχηματίζουν ένα πλέγμα από άτομα νατρίου, χλωρίου, υδρογόνου και οξυγόνου (Εικόνα 5β). γ) Κατά τη διάλυση τα μόρια της διαλυμένης ουσίας διασπώνται στα άτομα από τα οποία αποτελούνται (Εικόνα 5γ). δ) Μαθητές που θεωρούν ότι το χλωριούχο νάτριο αποτελείται από μόρια υποστηρίζουν ότι κατά τη διάλυσή του στο νερό αναμειγνύονται τα μόρια του νερού με τα μόρια του χλωριούχου νατρίου (Εικόνα 5δ). ε) Κάποιοι μαθητές αδυνατούν να οπτικοποιήσουν το φαινόμενο σε σωματιδιακό επίπεδο (Εικόνα 5ε). στ) Πολλοί μαθητές δεν αναγνώρισαν την παρουσία του νερού. Αναφορικά με τη συμβολική αναπαράσταση η πλειοψηφία των

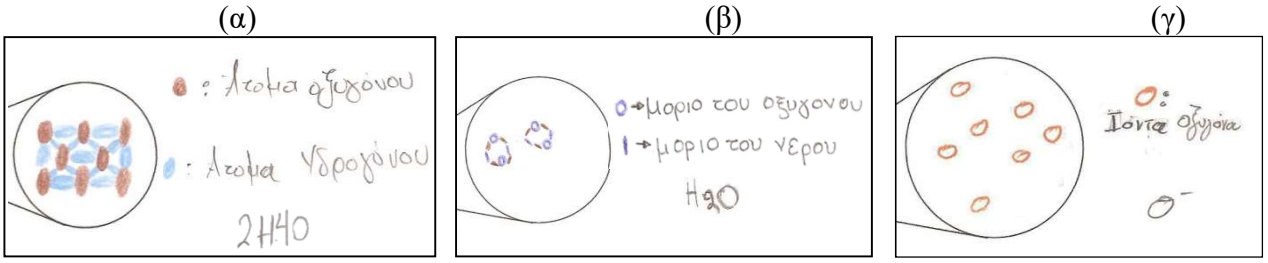
μαθητών δεν γνώριζε το σύμβολο «aq» για το υδατικό διάλυμα και καταγράφτηκαν συμβολισμοί όπως: «$NaC\ell_{(\ell)}$», «$NaC\ell_{2(\ell)}$», «$C\ell Na \downarrow$», «$H_2O + NaC\ell$», «$H_2O_{(\ell)} + NaC\ell_{(\ell)}$», «$H_2ONaC\ell$», «$C\ell$, Na, H_2O» ή «Na^+, $C\ell^-$».

Εικόνα 5: Παραδείγματα μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων που κατασκεύασαν οι μαθητές για το υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου.



Τέλος, για το υδατικό διάλυμα οξυγόνου καταγράφτηκαν οι παρακάτω επιπλέον παρανοήσεις: α) Κατά τη διάλυση του οξυγόνου στο νερό ενώνονται τα μόρια νερού με τα άτομα οξυγόνου σχηματίζοντας μία πυκνή διάταξη και μάλιστα η σύσταση των μορίων νερού μεταβάλλεται. Για παράδειγμα ένα μόριο νερού μπορεί να αποτελείται από 1 άτομο υδρογόνου και 3 άτομα οξυγόνου (Εικόνα 6α). β) Κάποιοι άλλοι θεωρούν ότι το νερό ενώνεται με το οξυγόνο σχηματίζοντας μεγαλύτερες δομές (Εικόνα 6β). γ) Μερικοί θεωρούν ότι κατά τη διάλυση του οξυγόνου στο νερό, τα μόρια του οξυγόνου διίστανται σε ιόντα (Εικόνα 6γ). Η πλειοψηφία των μαθητών έγραψε λανθασμένους συμβολισμούς, όπως: «$O_{2(\ell)}$», «O^-», «$O \downarrow$», «$H_2O_{(\ell)} + O_{2(\ell)}$», «$H_2O + O_2$», «$H_2O + O$», «$H_2O + O^2$», «$H_2O$», «2H4O» ή «$H_2OH$».

Εικόνα 6: Παραδείγματα μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων που κατασκεύασαν οι μαθητές για το υδατικό διάλυμα οξυγόνου.



Συμπεράσματα και Προτάσεις

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που περιγράφτηκαν παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη ότι η διδασκαλία των εξεταζόμενων εννοιών έχει ολοκληρωθεί σε προηγούμενα σχολικά έτη προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ικανότητα μετάφρασης χημικών αναπαραστάσεων από το μακροσκοπικό στο μικροσκοπικό και στο συμβολικό επίπεδο των μαθητών Β΄ τάξης Λυκείου είναι περιορισμένη. Η έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τη χημεία εξίσου σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο και δεν μπορούν να χρησιμοποιούν τα τρία επίπεδα της χημείας ταυτόχρονα. Επίσης, οι μαθητές αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες και έχουν παρανοήσεις ακόμα και για τις βασικές χημικές έννοιες (χημικό στοιχείο, στερεή κατάσταση, υδατικό διάλυμα, κ.α.) που εξετάστηκαν στην έρευνα.
Δεδομένου ότι η εννοιολογική κατανόηση στη χημεία είναι συνυφασμένη με την ικανότητα σκέψης των χημικών φαινομένων και εννοιών σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό επίπεδο παράλληλα, διαμορφώσαμε τις παρακάτω προτάσεις, οι οποίες θεωρούμε ότι θα συμβάλλουν στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης του μαθήματος της χημείας: α) Να δίνεται περισσότερη έμφαση στο μικροσκοπικό επίπεδο της χημείας, δεδομένης της δυσκολίας των μαθητών να οπτικοποιήσουν τη σωματιδιακή φύση της ύλης. Η έμφαση αυτή θα πρέπει να δίνεται κατά τη διδασκαλία και την αξιολόγηση των μαθητών, αλλά και στα σχολικά εγχειρίδια. β) Να επεξηγούνται αναλυτικά οι μικροσκοπικές και οι συμβολικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται, ώστε να καθίσταται σαφές το νόημά τους σε όλους τους μαθητές. γ) Να επισημαίνεται η σχέση ανάμεσα στα τρία επίπεδα της χημείας. δ) Να χρησιμοποιείται η κατασκευή μικροσκοπικών αναπαραστάσεων από τους ίδιους τους μαθητές και η μετάφραση μεταξύ αναπαραστάσεων από το ένα επίπεδο της χημείας στο άλλο στην αξιολόγηση των μαθητών, ώστε να αποτιμάται η εννοιολογική κατανόηση των εννοιών και να αποκαλύπτονται πιθανές παρανοήσεις.

Βιβλιογραφία

Γκίτζια Β. (2013). *Διερεύνηση της ικανότητας μαθητών και φοιτητών να μεταφράζουν χημικές αναπαραστάσεις διαφορετικού τύπου. Ανάδειξη των αντιλήψεών τους για βασικές χημικές έννοιες.* Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Cheng, M. & Gilbet. J.K. (2009). Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels in chemical education. In Gilbert, J.K., Treagust, D. (ed), *Multiple Representations in Chemical Education*, Springer, 55-73.

Creswell, J.W. & Plano Clark, V.L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications, 2011.

Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert, (ed.), *Visualization in science education*, Dordrecht, Springer, 121-146.