

Κατηγοριοποίηση προβλημάτων χημικής ισορροπίας με χρήση χαρτών εννοιών: Επίδραση στην επίδοση των μαθητών

Αντώνιος Μπάκολης, Δημήτριος Σταμοβλάσης, Γεώργιος Τσαπαρλής

stadi@cc.uoi.gr,

gtseper@cc.uoi.gr

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Θεματική Ενότητα: Διδακτικές Στρατηγικές

Επίπεδο Εκπαίδευσης: Λύκειο

Κατηγορία Εργασίας: Εμπειρική-Πειραματική έρευνα

Περίληψη: Έρευνες της διδακτικής των φυσικών επιστημών έχουν επισημάνει ότι ο τρόπος οργάνωσης της γνώσης επηρεάζει την διαθεσιμότητά της στην επίλυση προβλημάτων, ενώ αποτελεί και την σημαντική διαφορά μεταξύ αρχαρίων και έμπειρων σε κάποιο γνωστικό πεδίο. Εξάλλου, έρευνες έχουν δείξει ότι επιτυγχάνεται βελτίωση της επίδοσης των μαθητών σε προβλήματα χημείας με την χρήση κατηγοριοποίησης των προβλημάτων. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες εννοιών (concept maps) ως μέσον κατηγοριοποίησης των προβλημάτων και εξετάστηκε η επίδραση στην επίδοση των μαθητών μιας διδακτικής παρέμβασης με την χρήση χαρτών εννοιών για την λύση προβλημάτων χημικής ισορροπίας. Η έρευνα έγινε σε μαθητές ($N = 40$) της β' τάξης λυκείου θετικής κατεύθυνσης, σε δύο φροντιστήρια της Κέρκυρας, προτού διδαχθεί η χημική ισορροπία στο σχολείο ή στο φροντιστήριο. Χρησιμοποιήθηκε πειραματικό τμήμα και τμήμα ελέγχου. Οι μαθητές του πειραματικού τμήματος πέτυχαν καλύτερες επιδόσεις στο δεύτερο τεστ, οι διαφορές όμως δεν ήταν πάντα στατιστικά σημαντικές. Εξάλλου, περισσότερο βελτιώθηκε η βαθμολογία των σε χαμηλότερο νοητικό επίπεδο κατά Piaget μαθητών (στην περίπτωση μας μεταβατικού σταδίου) και μάλιστα στα βήματα του προβλήματος που απαιτούν εννοιολογική κατανόηση. Τέλος, μελετήθηκαν οι επιδόσεις στα αλγοριθμικά και στα εννοιολογικά βήματα της λύσης του προβλήματος και χρησιμοποιήθηκε και το σχήμα της Nakhleh.

Λέξεις Κλειδιά: Εννοιολογικοί χάρτες, λύση προβλημάτων, προβλήματα χημικής ισορροπίας, κατηγοριοποίηση προβλημάτων

Use of concepts maps in chemical-equilibrium problem categorisation: Effect on student achievement

Antonios Bakolis, Dimitrios Stamovlasis stadi@cc.uoi.gr, Georgios Tsaparlis, gtseper@cc.uoi.gr

University of Ioannina

Conference Theme: Teaching strategies

Educational Level: Lower Secondary

Paper Classification: Empirical Investigation

Abstract: Research in science education has pointed out that the way knowledge is organised affects its availability for problem solving. At the same time, it constitutes the important difference between experts and novices in a specific domain. A crucial step in problem solving is the retrieval of already learned schemata from long-term memory, a process which is facilitated by categorisation of the problem. The present study employed concept maps in a novel way, as a categorisation tool. The objective is to determine whether providing specific practice in problem categorisation improves student achievement in problem solving and in conceptual understanding. The research employed instruction and tests in two groups of eleventh-grade students from two 'frontistieria' in Corfu ($N = 40$): the methodology group and the control group. Results showed that categorisation by concept maps help students to improve their performance on problem solving. However, the improvement was not always statistically significant. In addition, it was found that students at lower developmental level (in the Piagetian sense) (in our sample students at the transitional stage) had a larger improvement. Finally, student performance on algorithmic versus conceptual steps in the solution process was studied and Nakhleh's scheme was used.

Keywords: concept maps, categorisation, problem solving, chemical equilibrium problems.

Εισαγωγή. Η παρούσα εργασία έγινε με σκοπό να αναδείξει αν μια παρεμβατική διδασκαλία με κατηγοριοποίηση προβλημάτων επηρεάζει την επίδοση των μαθητών. Ο σχεδιασμός της έρευνας περιέχει το νέο στοιχείο της κατηγοριοποίησης μέσω *χαρτών εννοιών* (Novak & Gowin 1984, Novak 1985, 1990a, 1990b). Μια παρεμβατική διδασκαλία με την χρήση αυτών των εργαλείων έγινε για να διερευνηθεί κατά πόσον είναι δυνατή η άμεση μεταφορά των σχημάτων που χρησιμοποιούν οι έμπειροι λύτες και κατά πόσον αυτά βοηθούν τους αρχαρίους τόσο στην λύση προβλημάτων όσο και στην εννοιολογική κατανόηση.

Η κατηγοριοποίηση προβλημάτων, με στόχο την βελτίωση της επίδοσης των μαθητών σε προβλήματα χημείας, μελετήθηκε σε σχετική έρευνα (Bunce, Gabel, & Samuel 1991), με βάση την κατηγορική μέθοδο επίλυσης προβλημάτων των Bunce & Heikkinen (1986). Η μέθοδος είναι μια οργανωμένη προσέγγιση ανάλυσης προβλημάτων και περιλαμβάνει: α) αποκωδικοποίηση της πληροφορίας που δίνεται στο πρόβλημα (δεδομένα, ζητούμενα), β) συσχέτιση με τα στοιχεία που υπάρχουν στην μακρόχρονη μνήμη (ανάκληση) και γ) σχεδιασμό της λύσης πριν από την πραγματοποίηση της μαθηματικής επίλυσης. Οι μαθητές ασκήθηκαν σε επίλυση προβλημάτων με κατηγοριοποίηση και οι επιδόσεις τους ήταν στατιστικά σημαντικά καλύτερες σε σχέση με τις επιδόσεις μαθητών που είχαν διδαχθεί με τον παραδοσιακό τρόπο.

Οι Bunce, Gabel και Samuel (1991) εξέτασαν την επίδραση στρατηγικών στην λύση προβλημάτων και υποστήριξαν την υπόθεση του Reif (1981) ότι κλειδί για την βελτίωση της ικανότητας λύσης είναι η εισαγωγή μιας στρατηγικής επίλυσης. Ένας από τους κύριους σκοπούς της επίλυσης των προβλημάτων είναι να επεκτείνουν την εννοιολογική κατανόηση των φαινομένων του προβλήματος από τους μαθητές. Για να λύνεται σωστά ένα πρόβλημα, πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι οι μαθητές έχουν κατανοήσει τις έννοιες και τις ιδέες που εμπλέκονται σ' αυτό (Reif 1981, Reif & Heller 1982, Reif 1983).

Ερευνητές από τον χώρο της γνωστικής ψυχολογίας προτείνουν να διδάσκεται περισσότερο η εννοιολογική οργάνωση των κατηγοριών, και όχι πολλή και εξειδικευμένη επιστημονική γνώση. Επισημαίνουν επίσης ότι η οργάνωση της γνώσης επηρεάζει την διαθεσιμότητά της στην επίλυση προβλημάτων (Sternberg 1981, de Jong & Ferguson 1986) και ότι είναι πολύ σημαντική η αφθονία των διασυνδέσεων μεταξύ των εννοιών (Chi & Koeske 1983). Η οργάνωση της γνώσης έχει παρασταθεί με ποικίλες μεθόδους στην έρευνα της γνωστικής ψυχολογίας και της διδακτικής των φυσικών επιστημών, κυρίως με χρήση της εννοιολογικής χαρτογράφησης. Ο τρόπος οργάνωσης της γνώσης είναι σημαντική αιτία της διαφοράς μεταξύ αρχαρίων και εμπειρών σε κάποιο γνωστικό πεδίο. Οι έμπειροι έχουν μεγαλύτερη γνώση του πεδίου, αλλά επίσης έχουν οργανώσει αυτή την γνώση σε μορφή που διευκολύνει την ανάκληση και την εφαρμογή της. Πολυεπίπεδες γνωστικές δομές, με πολλές συνδέσεις μεταξύ των επιπέδων, θεωρούνται ότι χαρακτηρίζουν έμπειρους γνώστες ενός πεδίου (Wilson 1994). Ο Pankratius (1990) αναγνώρισε την εξάρτηση της λύσης προβλημάτων από μια οργανωμένη γνωστική βάση και έδειξε σημαντικά αποτελέσματα της εννοιολογικής χαρτογράφησης στην επίδοση των μαθητών. Καθώς ένας στόχος της διδασκαλίας της χημείας είναι να καλλιεργήσει την νοηματική μάθηση, η διδασκαλία στρατηγικών που καλλιεργούν σύνθετες και ιεραρχικές γνωστικές δομές μπορεί επίσης να διευκολύνει την ανάπτυξη νοηματικών γνωστικών ικανοτήτων, όπως είναι η επίλυση προβλημάτων.

Μέθοδος

Τα υποκείμενα. Η έρευνα έγινε σε μαθητές β' τάξης λυκείου θετικής κατεύθυνσης, σε δύο φροντιστήρια της Κέρκυρας. Συμμετείχαν 40 μαθητές που χωρίστηκαν σε δύο τμήματα: πειραματικό ($N = 19$) και ελέγχου ($N = 21$). Για να αποφύγουμε την επίδραση προηγούμενης γνώσης των μαθητών, πραγματοποιήσαμε την έρευνα προτού διδαχθεί η χημική ισορροπία στο σχολείο ή στο φροντιστήριο. Και στα δύο τμήματα, στην αρχή έγινε το τεστ Lawson για να καταταχθούν οι μαθητές σε στάδια νοητικής ανάπτυξης κατά Piaget (Lawson 1978).

Έλεγχος της ισοδυναμίας των τμημάτων. Χρησιμοποιήθηκαν το τεστ Lawson και το αρχικό (1^ο) τεστ και αμφότερα έδειξαν ότι τα δύο τμήματα ήταν στατιστικά ισοδύναμα. Επιπλέον τα τμήματα ήταν στατιστικά ισοδύναμα και ως προς την συχνότητα μεταβατικών και τυπικών κατά Piaget (μαθητές του συγκεκριμένου σταδίου δεν βρέθηκαν στο δείγμα). Επιπρόσθετη στήριξη της ισοδυναμίας των τμημάτων ήταν η μη διαπίστωση στατιστικώς σημαντικών διαφορών στις επιδόσεις των μαθητών στα πανελλαδικώς εξεταζόμενα, στο τέλος της β' λυκείου, μαθήματα χημείας και φυσικής.

Η διδασκαλία. Αρχικά διδάχθηκε σε όλους τους μαθητές από τον ίδιο διδάσκοντα (Α.Μ.) το θέμα της χημικής ισορροπίας επί 3 διδακτικές ώρες και ακολούθως επιλύθηκαν προβλήματα από τον διδάσκοντα επί 2 διδακτικές ώρες. Μετά το πέρας της διδασκαλίας, έγινε το αρχικό (1^ο) τεστ. Ακολούθησε ένα δίωρο εντατικό μάθημα επίλυσης προβλημάτων, στο μεν τμήμα ελέγχου με τον παραδοσιακό τρόπο, στο δε πειραματικό τμήμα με κατηγοριοποίηση των προβλημάτων χημικής ισορροπίας μέσω χαρτών εννοιών. Οι χάρτες δόθηκαν έτοιμοι στους μαθητές. Παραδείγματα χρησιμοποιηθέντων χαρτών εννοιών δίδονται στο Παράρτημα. Στο τέλος του εντατικού μαθήματος έγινε το 2^ο τεστ, κατά το οποίο δόθηκε προς λύση και στα δύο τμήματα το παρακάτω πρόβλημα χημικής ισορροπίας.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ. Μίγμα αποτελούμενο από 1 mol N₂, 1 mol O₂ και 2 mol NO βρίσκεται σε ισορροπία σε δοχείο όγκου 1L, σε θερμοκρασία θ °C, σύμφωνα με την εξίσωση: N_{2(g)} + O_{2(g)} ⇌ 2 NO_(g)

(α) Πόσα mol NO πρέπει να προστεθούν στο δοχείο, σε θερμοκρασία θ °C, ώστε στην νέα ισορροπία να έχουμε 2 mol N₂;

(β) Μίγμα αποτελούμενο από 4 mol N₂ και 4 mol O₂ εισάγεται σε κενό δοχείο όγκου 2L σε θερμοκρασία θ° C. Να βρεθεί η σύσταση του μίγματος στο δοχείο όταν αποκατασταθεί χημική ισορροπία.

(γ) Να βρείτε και να δηλώσετε στα παρακάτω κενά την κατηγορία και την υποκατηγορία στον αντίστοιχο χάρτη εννοιών (π.χ. Α2α) των ερωτημάτων (α) και (β). [Το ερώτημα (γ) δεν βαθμολογήθηκε, ετέθη δε μόνο στους μαθητές του τμήματος μεθοδολογίας για να ελεγχθεί η γνώση και η χρήση της κατηγοριοποίησης που διδάχθηκαν.]

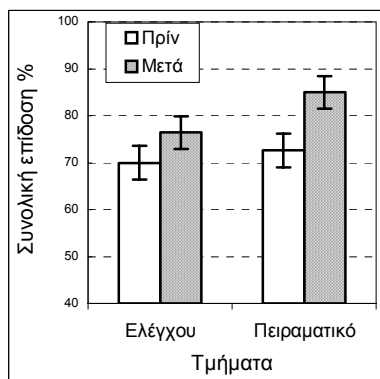
Οι απαντήσεις των μαθητών βαθμολογήθηκαν με βάση βαθμολογικό σχήμα που κατέστρωσε ο ένας ερευνητής (Α.Μ.), το οποίο ελέγχθηκε από έναν δεύτερο διορθωτή. Ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,94, άρα τόσο το βαθμολογικό σχήμα όσο και η βαθμολόγηση κρίνονται υψηλής αξιοπιστίας. Οι επιδόσεις των μαθητών εξετάστηκαν σε σχέση αφενός με τον τρόπο διδασκαλίας (σύγκριση πειραματικού και τμήματος ελέγχου), αφετέρου σε σχέση με το επίπεδο νοητικής ανάπτυξης κατά Piaget. Έγινε επίσης διάκριση και επιμέρους βαθμολόγηση των βημάτων της λύσης του προβλήματος:

Οι διαστάσεις της έρευνας. Οι επιδόσεις των μαθητών εξετάστηκαν σε σχέση με τις ακόλουθες διαστάσεις: 1) Τον τρόπο διδασκαλίας (τμήματα πειραματικό και ελέγχου). 2) Το επίπεδο νοητικής ανάπτυξης κατά Piaget. Επιπλέον ορίστηκε μία επιπλέον διάσταση, με βάση την διάκριση των βημάτων της λύσης ενός προβλήματος σε α) εκείνα που απαιτούν την εφαρμογή μιας γνωστής πορείας (ενός αλγορίθμου: αλγοριθμικά βήματα) και β) στα απαιτούντα εννοιολογική κατανόηση. Με βάση την τρίτη διάσταση, τα υποκείμενα κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερες κατηγορίες, σύμφωνα με το σχήμα της Nakhleh (1993): υψηλή εννοιολογική-υψηλή αλγοριθμική (1, 1), υψηλή εννοιολογική-χαμηλή αλγοριθμική (1, -1), χαμηλή εννοιολογική -υψηλή αλγοριθμική (-1, 1), και χαμηλή νοηματική-χαμηλή αλγοριθμική (-1,-1).

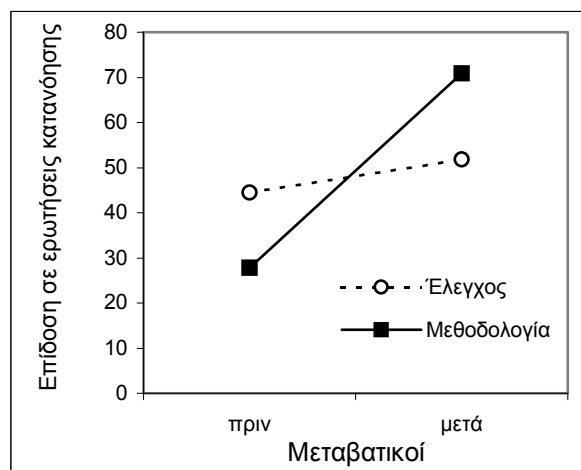
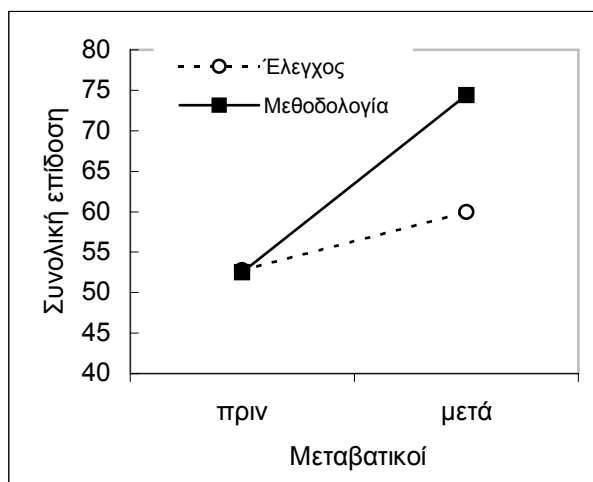
Στατιστική επεξεργασία: Για την εύρεση στατιστικώς σημαντικών διαφορών στους μέσους όρους των επιδόσεων, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό κριτήριο *t* για ανεξάρτητα και εξαρτημένα δείγματα, με το στατιστικό λογισμικού SPSS. Όλες οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που αναφέρονται στο κείμενο αντιστοιχούν σε επίπεδο σημαντικότητας τουλάχιστον $p = 0,05$.

Αποτελέσματα

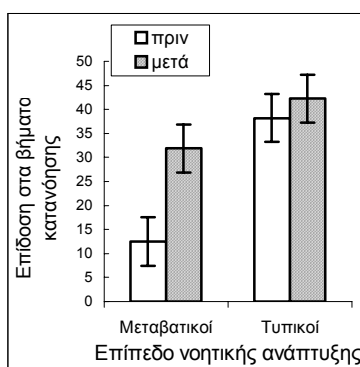
Η επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι στο τμήμα ελέγχου όλες οι διαφορές στις επιδόσεις (μεταξύ 1^{ου} και 2^{ου} τεστ) που προέκυψαν από την εξάσκηση και για όλες τις κατηγορίες υποκειμένων ήταν στατιστικά μη σημαντικές. Για το πειραματικό τμήμα όμως τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές που διδάχθηκαν κατηγοριοποίηση προβλημάτων με χρήση χαρτών εννοιών σημείωσαν (στατιστικώς σημαντική) μεγαλύτερη βαθμολογία στη συνολική επίδοση (Σχήμα 1). Το Σχήμα 2Α καταδεικνύει ένα πολύ ενδιαφέρον αποτέλεσμα: την μεταβολή της επίδοσης των μαθητών μεταβατικού σταδίου κατά Piaget από το 1^ο στο 2^ο τεστ. Παρατηρούμε ότι οι μαθητές του πειραματικού τμήματος σημείωσαν αρκετά μεγαλύτερη βελτίωση από τους μαθητές του τμήματος ελέγχου. Επιπλέον, όπως δείχνει το Σχήμα 2Β, οι μεταβατικοί μαθητές του πειραματικού τμήματος σημείωσαν, σε αντίθεση με τους του τμήματος ελέγχου, σημαντική βελτίωση (από το 1^ο στο 2^ο τεστ) στην επίδοσή τους στα εννοιολογικά βήματα. Τέλος, συγκρίθηκαν οι επιδόσεις μεταβατικών και τυπικών μαθητών στα βήματα της λύσης που ήταν αλγοριθμικά και σ' εκείνα που απαιτούσαν εννοιολογική κατανόηση. Όπως δείχνει το Σχήμα 3, οι μεταβατικοί μαθητές βελτιώθηκαν σημαντικά στα βήματα της λύσης των προβλημάτων που απαιτούσαν εννοιολογική κατανόηση, ενώ δεν βελτιώθηκαν στα αλγοριθμικά βήματα. Αντιθέτως, οι τυπικοί μαθητές δεν σημείωσαν ουσιαστική βελτίωση.



Σχήμα 1: Συνολική επίδοση των μαθητών του πειραματικού και του τμήματος ελέγχου στο 1^ο (πριν) και στο 2^ο (μετά) τεστ.



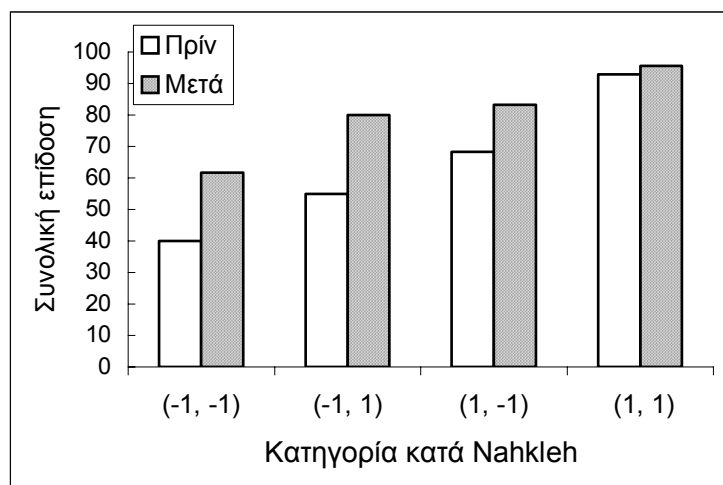
Α
Σχήμα 2: Μεταβολή της επίδοσης των μεταβατικών μαθητών κατά Piaget. Α) Συνολική επίδοση. Β) Επίδοση σε εννοιολογικές ερωτήσεις.



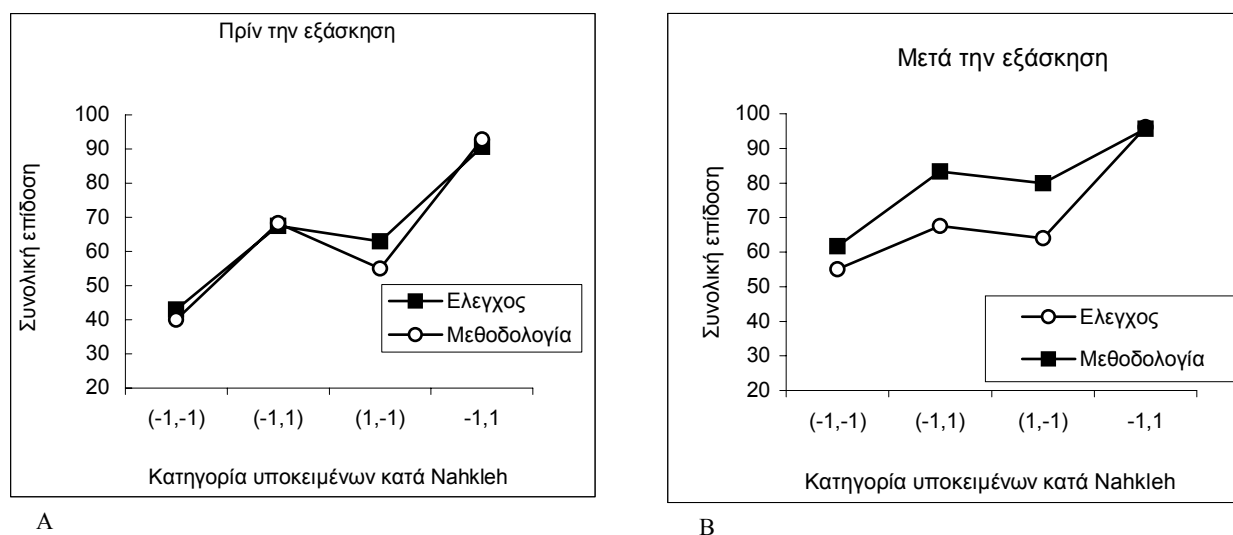
Σχήμα 3: Επίδοση των μαθητών του πειραματικού τμήματος στα βήματα που απαιτούν εννοιολογική κατανόηση.

Στο Σχήμα 4 δίδεται η επίδοση των κατηγοριών κατά Nakhleh στο συνολικό πρόβλημα για τους μαθητές του πειραματικού τμήματος. Παρατηρούμε ότι μόνον οι κατηγορίες: υψηλή εννοιολογική-χαμηλή αλγοριθμική (1, -1), χαμηλή εννοιολογική-υψηλή αλγοριθμική (-1, 1), και χαμηλή εννοιολογική-χαμηλή αλγοριθμική (-1, -1) παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, ενώ η κατηγορία υψηλή εννοιολογική-υψηλή αλγοριθμική (1, 1) δεν παρουσιάζει βελτίωση. Το αντίστοιχο διάγραμμα για το τμήμα ελέγχου δεν παρουσιάζει καμία σημαντική διαφορά.

Συγκρίσεις έγιναν επίσης και μεταξύ των τμημάτων πειραματικού και ελέγχου. Στο συνολικό δείγμα δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο σύνολο των επιδόσεων ούτε στα αλγοριθμικά ή τα απαιτούμενα εννοιολογικά βήματα της λύσης του προβλήματος. Σε επιμέρους όμως τμήματα του δείγματος, όπως στους μεταβατικούς κατά Piaget και σε ορισμένες κατηγορίες κατά Nakhleh υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις επιδόσεις. Το Σχήμα 5 δείχνει την μεταβολή της επίδοσης των μεταβατικών κατά Piaget στο συνολικό πρόβλημα και στα εννοιολογικά βήματα. Παρατηρούμε ότι το πειραματικό τμήμα παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές στην επίδοση στο



Σχήμα 4: Επίδοση των μαθητών του πειραματικού τμήματος κατά κατηγορίες Nahkleh στο συνολικό πρόβλημα. δεύτερο τεστ. Τέλος, το Σχήμα 5 δείχνει συγκριτικά για τα τμήματα πειραματικό και ελέγχου τις μεταβολές των συνολικών επιδόσεων των κατηγοριών κατά Nahkleh, πριν από και μετά την διδακτική παρέμβαση.



Σχήμα 5: Συγκριτικές μεταβολές των επιδόσεων των κατηγοριών κατά Nahkleh στο σύνολο, για τα τμήματα πειραματικό και ελέγχου: Α) Πριν από την διδακτική παρέμβαση Β) Μετά την διδακτική παρέμβαση.

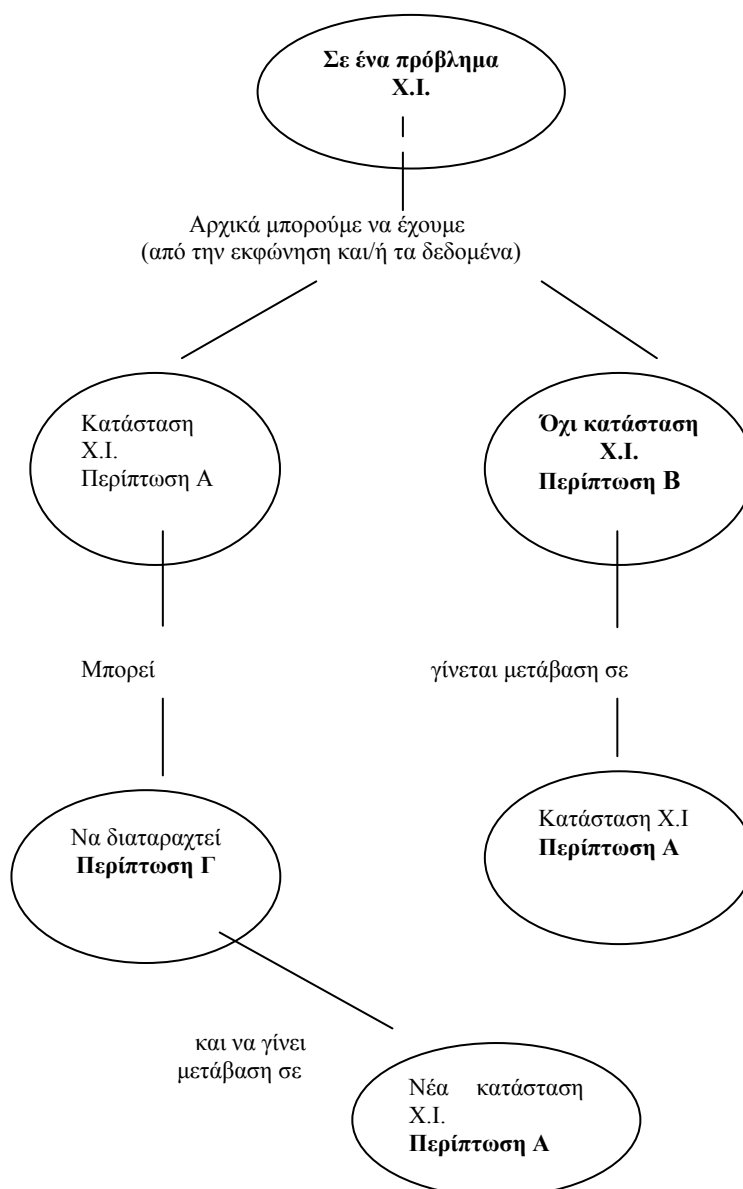
Συμπεράσματα. Η επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι οι μαθητές του τμήματος μεθοδολογίας που διδάχθηκαν κατηγοριοποίηση προβλημάτων με χρήση χαρτών εννοιών πέτυχαν καλύτερη συνολική βαθμολογία μετά την διδακτική παρέμβαση. Η κατάταξη των μαθητών σε στάδια νοητικής ανάπτυξης έδειξε ότι περισσότερο βελτιώθηκε η βαθμολογία των μεταβατικών κατά Piaget μαθητών και μάλιστα στα τμήματα εκείνα της λύσης τα οποία απαιτούν εννοιολογική κατανόηση. Αντιθέτως, οι τυπικοί κατά Piaget δεν παρουσίασαν βελτίωση. Τέλος, η διάκριση των μαθητών στις τέσσερις κατηγορίες της Nahkleh (με βάση την διάσταση της αλγοριθμικής πορείας και της εννοιολογικής κατανόησης) έδειξε ότι περισσότερο βελτιώθηκε η βαθμολογία των κατηγοριών (1,-1) και (-1,1) και μάλιστα στα ερωτήματα εκείνα τα οποία απαιτούν εννοιολογική κατανόηση. Αντιθέτως, η αλγοριθμική ικανότητα δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές αυξήσεις. Στην περίπτωση της κατηγορία (1,1) (όπως και των τυπικών μαθητών), οι επιδόσεις ήταν αρκετά υψηλές και παρέμειναν υψηλές. Είναι προφανές επομένως ότι η διδασκαλία κατηγοριοποίησης προβλημάτων με την χρήση χαρτών εννοιών, ειδικά στον περιορισμένο χρόνο που διατίθεται για τη διδασκαλία της χημείας στο λύκειο, μπορεί να επηρεάσει θετικά τουλάχιστον τους μαθητές με χαμηλότερες νοητικές ικανότητες.

Βιβλιογραφία

- BUNCE, D. M., GABEL, D.L., & SAMUEL, J.V. (1991) Enhancing chemistry problem-solving achievement using problem categorization. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 505-521.
- BUNCE, D. M. & JEIKKINEN, H. (1986) The effects of an explicit problem-solving approach on mathematical chemistry achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 11-20.
- CHI, M.T.H. & KOESKE, R. P. (1983) Network representation of a child's dinosaur knowledge. *Development Psychology*, 19, 29-39.

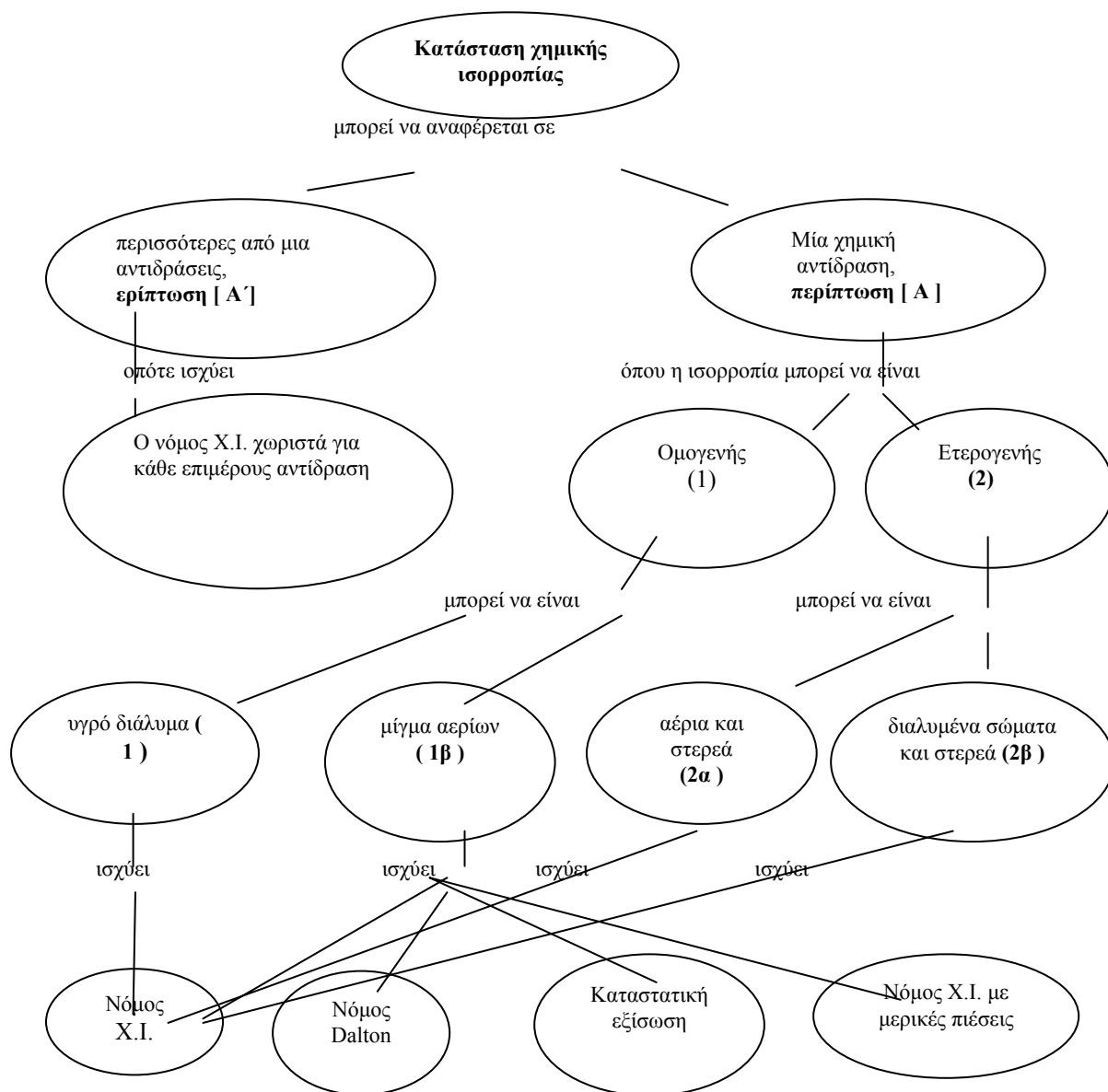
- DE JONG, T. & FERGUSON-HESSLER, M.G.M. (1986) Cognitive structures of good and novice problem solvers in physics. *Journal of Educational Psychology*, 78, 279-288.
- LAWSON, A. E. (1978). Development and validation of the classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15, 11-24.
- NAKLEH, M.B. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, 70, 52-55.
- NOVAK, J.D. (1985) Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn. In *Cognitive structure and Conceptual Change* (Orlando, FL: Academic Press), pp. 101-115.
- NOVAK, J.D. (1990a) Concept mapping: A useful tool for science education *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 937-949.
- NOVAK, J.D. (1990b) Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science*, 19, 29-52.
- NOVAK, J.D. & GOWIN, D.B. (1984) *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- PANKRATIUS, W. J. (1990) Building an organized knowledge base: Concept mapping and achievement in secondary school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 315-333.
- REIF, F. (1981) Teaching problem solving - A scientific approach. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 310-316.
- REIF, F. (1983) How can chemists teach problem-solving? *Journal of Chemistry Education*, 60, 949-953.
- REIF, F. and HELLER, J. I. (1982) Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17, 102-127.
- STERNBERG, R.J. (1981) Intelligence and nonentrenchment. *Journal of Educational Psychology*, 73, 1-16.
- WILSON, J. M. (1994) Network representations of knowledge about chemical equilibrium: Variations with achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1133-1147.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ. Παραδείγματα χρησιμοποιηθέντων χαρτών εννοιών.



Παράδειγμα 1: Γενικές κατηγορίες προβλημάτων χημικής ισορροπίας.

Περιπτώσεις A και A'



Παράδειγμα 2: Προβλήματα χημικής ισορροπίας σε κατάσταση ισορροπίας (Περιπτώσεις A και A').