

Διδασκαλία στοιχείων Νανοτεχνολογίας μέσω της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών σε παιδιά πρώτης σχολικής ηλικίας

Πανδώρα Δορούκα, Σταμάτης Παπαδάκης, Μιχαήλ Καλογιαννάκης, Νικόλαος Ζαράνης

pandora.dorouka@gmail.com, stpapadakis@edc.uoc.gr, mkalogian@edc.uoc.gr,
nzaranis@edc.uoc.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Προσχολικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Κρήτης

Περίληψη

Στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο αυξάνεται το ενδιαφέρον ερευνητών και εκπαιδευτικών για την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαίδευση των μικρών παιδιών. Η επιτυχής ενσωμάτωση των έξυπνων φορητών συσκευών τεχνολογιών στην προσχολική και την πρωτοσχολική εκπαίδευση εξακολουθεί να αντιμετωπίζει ανεπίλυτα ζητήματα και προκλήσεις. Πολλές εκπαιδευτικές ψηφιακές δραστηριότητες που έχουν αναπτυχθεί για παιδιά πρώιμης παιδικής ηλικίας εστιάζουν στην ανάπτυξη των ικανοτήτων αναφορικά με τις διεπιστημονικές έννοιες των Φυσικών Επιστημών, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Μαθηματικών, δηλαδή την εκπαίδευση STEM. Σκοπός της έρευνάς μας είναι να εξετάσουμε εάν η διδασκαλία που βασίζεται στις ταμπλέτες είναι πιο αποτελεσματική στην εκμάθηση στοιχείων Νανοτεχνολογίας - μιας τεχνολογίας αιχμής - από τα μικρά παιδιά συγκριτικά με τη βασισμένη στον υπολογιστή διδασκαλία, καθώς και την παραδοσιακή.

Λέξεις κλειδιά: Ψηφιακές τεχνολογίες, Προσχολική και πρωτοσχολική εκπαίδευση, STEM, Νανοτεχνολογία

Εισαγωγή

Η αποδοχή νέων εφαρμογών λογισμικού στην προσχολική και πρωτοσχολική εκπαίδευση ως αναπτυξιακά κατάλληλες εκπαιδευτικές πηγές συνεχώς επεκτείνεται (Papadakis, Kalogiannakis, & Zaranis, 2018a). Μελέτες έχουν δείξει ότι τα παιδιά ήδη από την προσχολική ηλικία μπορούν να χειριστούν με επιτυχία υπολογιστές με τις κατάλληλες οδηγίες (Rogowsky, Terwilliger, Young, & Kribbs, 2018). Επιπλέον, οι ταμπλέτες και οι έξυπνες συσκευές που επιτρέπουν τις αλληλεπιδράσεις με την οθόνη αφής έχουν αποδειχθεί φιλικές ως προς τη χρήση τους από τα μικρά παιδιά και πιο αποτελεσματικές από τους επιτραπέζιους υπολογιστές, οι οποίοι στο πλαίσιο του χειρισμού του ποντικιού που απαιτούν, δημιουργούν δυσκολίες συντονισμού ματιών ή χεριών (Rogowsky et al., 2018).

Μολονότι σε ερευνητικό επίπεδο η χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαίδευση των μικρών παιδιών αυξάνεται σχεδόν εκθετικά, σε επίπεδο πραγματικής σχολικής ζωής οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας δεσπόζουν (Reber & Rothen, 2018). Για να εδραιωθούν οι ψηφιακές τεχνολογίες στην εκπαίδευση των μικρών παιδιών λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες εκπαιδευτικές τους δυνατότητες, χρειάζεται να διερευνηθεί περαιτέρω η επίδρασή τους στη μαθησιακή διαδικασία σε ένα πλαίσιο σύγκρισης με τις πιο παραδοσιακές μεθόδους (Dorouka, Papadakis, & Kalogiannakis, 2020). Παρά τον ολοένα και αυξανόμενο αριθμό των ερευνών που εστιάζουν στην πρώιμη παιδική ηλικία και αφορούν στη μάθηση μέσω των ψηφιακών τεχνολογιών, υπάρχουν γνωστικά αντικείμενα στα οποία ο αντίκτυπος των νέων τεχνολογιών παραμένει ανεξερεύνητος. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα με τις Φυσικές

Επιστήμες και τη Νανοτεχνολογία (N-ET). Η N-ET ως νέο διεπιστημονικό πεδίο που υπόσχεται να επιλύσει παγκόσμιες διαχρονικές προκλήσεις και είναι εφικτό, σύμφωνα με την πρόσφατη βιβλιογραφία (Σπύρτου, Μάνου, Πέκος, & Παπαδοπούλου, 2018; Jones et al., 2013; Lin, Wu, Cho, & Chen, 2015), να διδαχθεί στα μικρά παιδιά.

Επίδραση των ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαίδευση των μικρών παιδιών

Αρκετές είναι οι έρευνες που έχουν εξετάσει την αποτελεσματικότητα των ψηφιακών τεχνολογιών στη μαθησιακή διαδικασία σε ένα πλαίσιο σύγκρισης με τις ευκαιρίες μάθησης που παρέχουν στα μικρά παιδιά οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας (Aladé, Lauricella, Beaudoin-Ryan, & Wartella, 2016; Papadakis & Kalogiannakis, 2017).

Στην έρευνά τους οι Rogowsky et al. (2018) χρησιμοποίησαν τις ταμπλέτες για να ελέγξουν πώς αυτές επιδρούν στην ανάπτυξη της αριθμητικής ικανότητας παιδιών προσχολικής ηλικίας λόγω της ευκολίας χρήσης τους, σε αντίθεση με τα χειριστήρια (ποντίκια), τα ποντίκια που χρησιμοποιούμε στους κλασικούς υπολογιστές και τα οποία δημιουργούν προβλήματα συντονισμού χεριών-ματιών. Επίσης, οι Papadakis et al. (2018a) διερεύνησαν την επίδραση των ψηφιακών και των παραδοσιακών τεχνολογιών στη διδασκαλία των Μαθηματικών, και διαπίστωσαν τη μοναδικότητα των χαρακτηριστικών των νέων ψηφιακών συσκευών τύπου οθονών αφής που τις καθιστά αναπτυξιακά καταλληλότερες και μαθησιακά αποτελεσματικότερες για τα μικρά παιδιά σε σχέση με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτών των συσκευών είναι τα χαρακτηριστικά τους, όπως το μέγεθος, η φορητότητα και η έλλειψη περιφερειακών συσκευών, που εκτός από αναπτυξιακά κατάλληλες, τις καθιστούν και ιδιαίτερα ελκυστικές για τα μικρά παιδιά (Papadakis et al., 2018a).

Οι έξυπνες φορητές συσκευές που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ενθαρρύνουν την εμπλοκή των μικρών παιδιών με έννοιες που σχετίζονται με την εκπαίδευση STEM (Kalogiannakis, Ampartzaki, Papadakis, & Skaraki, 2018). Η εκπαίδευση STEM που αφορά στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Μαθηματικών στο πλαίσιο μιας διεπιστημονικής προσέγγισης (Barak & Assal, 2018) θα μπορούσε να διευκολυνθεί από τις ψηφιακές τεχνολογίες εξαιτίας της απτικής ανατροφοδότησης. Η απτική ανατροφοδότηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, διότι παρέχει ένα μαθησιακό περιβάλλον με περισσότερα ερεθίσματα (Han & Black, 2011), που διευκολύνει την εκμάθηση επιστημονικών εννοιών από τα μικρά παιδιά (Aladé et al., 2016).

Η ψηφιακή λουπόν τεχνολογία, με την οποία βρίσκονται αντιμέτωπα σήμερα τα μικρά παιδιά, περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρονικών ταμπλετών και άλλων έξυπνων φορητών συσκευών που τους επιτρέπουν να παίζουν και να αλληλεπιδρούν με ένα πλήθος λογισμικών και πολλαπλές μορφές ψηφιακού κειμένου (Rogowsky et al., 2018). Οι ταμπλέτες, για παράδειγμα, δεν είναι μόνο πολύ φιλικές συσκευές προς τους μικρούς χρήστες, αλλά και ιδιαίτερα δημοφιλείς στα παιδιά προσχολικής και σχολικής ηλικίας (Papadakis & Kalogiannakis, 2017). Μολονότι χιλιάδες εφαρμογών έχουν αναπτυχθεί για αυτήν την ηλικιακή ομάδα (Vaala, Ly, & Levine, 2015), η ποιότητά τους δεν ικανοποιεί πάντα τα κριτήρια ποιότητας που έχουν αναπτυχθεί (Papadakis et al., 2018a). Για αυτό, θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική η εξέταση του σχεδιασμού και της δημιουργίας του περιεχομένου σε εποικοδομητικές εφαρμογές, προκειμένου να διερευνηθούν και οι δυνατότητες των ταμπλετών.

Κριτήρια για την αξιολόγηση της ποιότητας των νέων εκπαιδευτικών εφαρμογών για μικρά παιδιά

Πολλές από τις διαδραστικές εφαρμογές που διατίθενται στην αγορά περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες μορφές παιχνιδιών με περιεχόμενο «κλειστό», δηλαδή που δεν μπορεί να αλλάξει ή να επεκταθεί από το χρήστη (Flewitt, Kucirkova, & Messer, 2014). Τέτοιες εφαρμογές βασίζονται σε χαμηλά επίπεδα δεξιοτήτων σκέψης και συχνά δεν κάνουν τίποτα περισσότερο από την προώθηση της τεχνικής της απομνημόνευσης που βασίζεται στην επανάληψη, όπως οι εφαρμογές για την εκμάθηση χρωμάτων ή αριθμών (Goodwin, 2013). Επιπλέον, υπάρχουν ολόκληρες κατηγορίες πολύ καλών εφαρμογών που έχουν ψυχαγωγικό χαρακτήρα εξαιτίας της παιγνιώδους τους μορφής, αλλά δεν έχουν πραγματικούς εκπαιδευτικούς στόχους (Hirsh-Pasek et al., 2015).

Οι Papadakis, Kalogiannakis, & Zaranis (2018b) υπογραμμίζουν ότι μια εκπαιδευτική εφαρμογή μπορεί να προσδιοριστεί ως αναπτυξιακά κατάλληλη εάν έχει διαμορφωθεί με μια ανοικτού τύπου θεώρηση που επιτρέπει στα παιδιά να δημιουργούν το δικό τους περιεχόμενο ή να διερευνούν κάτι χωρίς να θεωρείται ότι η απάντησή τους είναι εσφαλμένη. Έτσι, τα παιδιά μπορούν να ασχολούνται με κατάλληλες για την ηλικία ή την ανάπτυξή τους εκπαιδευτικές εφαρμογές και μέσω αυτών να σχεδιάζουν, να δημιουργούν και να εκφράζουν ελεύθερα τη σκέψη τους (Papadakis et al., 2018a).

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες εφαρμογές που ενθαρρύνουν την έναρξη της ανάπτυξης δεξιοτήτων επικοινωνίας και μάθησης στα μικρά παιδιά (Heider & Jalongo, 2014). Εμφανώς λίγα είναι όμως τα παραδείγματα καλά σχεδιασμένων εκπαιδευτικών εφαρμογών που συνδυάζουν τη μάθηση με τη δημιουργία και το παιχνίδι (Pila, Aladé, Sheehan, Lauricella, & Wartella, 2019) όπως π.χ. το Scratch Jr (Papadakis, Kalogiannakis, & Zaranis, 2016). Επιπλέον, μολονότι η μάθηση μέσω των φορητών συσκευών και των εφαρμογών που τις συνοδεύουν έχει αποτελέσει τα τελευταία χρόνια αντικείμενο πολλών ερευνών (Etcuban & Pantinople, 2018; Papadakis et al., 2016), υπάρχουν ακόμη περιοχές που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση (Pila et al., 2019). Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλά ενδεχόμενα αξιοποίησης της φορητής μάθησης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στην προσχολική και πρωτοσχολική εκπαίδευση, εξαιτίας των πτυχών που την καθιστούν μοναδική και κατάλληλη για τις δυνατότητες της φορητής τεχνολογίας (Zydney & Warner, 2016).

Φυσικές Επιστήμες και Νανοτεχνολογία στην εκπαίδευση των μικρών παιδιών

Τα υλικά της Ν-ΕΤ χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητά μας με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, συχνά χωρίς την άμεση γνώση του καταναλωτή (Ghattsas & Carver, 2012). Λόγω της έκρηξης των χρήσεων της Ν-ΕΤ, υπάρχει ανάγκη να επικαιροποιηθούν τα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών με την ενσωμάτωση εννοιών σχετικών με τη Ν-ΕΤ, οι οποίες είναι σχετικές και σημαντικές για τη ζωή των παιδιών. Σύμφωνα με τους Ghattsas & Carver (2012), ο πληθυσμός-στόχος για την εκπαίδευση στη Ν-ΕΤ, είναι τα παιδιά επειδή αυτά αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο από την ανεξέλεγκτη ταχύτητα ανάπτυξης της Ν-ΕΤ. Αυτή θα είναι η μεταρρυθμιστική γενιά της Ν-ΕΤ που θα κληθεί να λάβει σχετικές αποφάσεις για τη δημόσια πολιτική. Καθοριστικής λοιπόν σημασίας είναι η εκπαίδευση των παιδιών στη Ν-ΕΤ και η εξοικείωσή τους με τα προϊόντα, καθώς και τα εργαλεία της Ν-ΕΤ παράλληλα με την σχετική ενημέρωσή τους γύρω από τις συνέπειες (Taylor, Jones, & Pearl, 2008).

Επιπλέον, λόγω των περιορισμένων γνώσεών μας σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα νανοϋλικά επηρεάζουν την υγεία και το περιβάλλον μας, είναι ακόμα πιο σημαντικό να συμπεριληφθεί η Ν-ΕΤ στην εκπαίδευση σε όλα τα επίπεδα (Planinsic & Kovac, 2008). Αυτή η περιορισμένη γνώση της χρήσης και οι πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία

συνεπάγεται ότι πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο να δοθεί έμφαση σε δεοντολογικά ζητήματα που σχετίζονται με τη Ν-ΕΤ (Ghattas & Carver, 2012).

Επείγουσα προτεραιότητα έχει ήδη καταστεί η εκπαίδευση στη Ν-ΕΤ σε αρκετές χώρες για την ανάπτυξη εξειδικευμένων ανθρώπινων πόρων για τις ταχέως αναπτυσσόμενες βιομηχανίες που σχετίζονται με τη Ν-ΕΤ (Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009). Το γεγονός ότι αποτελεί μια τεχνολογία αιχμής καθιστά μεγάλο το ενδεχόμενο να συμβάλει στην ανάπτυξη ενός μαθησιακού περιβάλλοντος που θα σχετίζεται με τα προσωπικά βιώματα των παιδιών και θα εντείνει το ενδιαφέρον τους ώστε να στρέφονται επαγγελματικά προς αυτήν την κατεύθυνση (Σπύρτου κ.ά., 2018). Κατά αυτόν τον τρόπο, η εκλαΐκευση της επιστήμης που βασίζεται στην Ν-ΕΤ είναι ζωτικής σημασίας για τα παιδιά (Stevens et al., 2009). Επιπλέον, εκεί που δίνουν πολλοί ερευνητές (Jones et al., 2013; Lin et al., 2015) ιδιαίτερη έμφαση είναι η κατανόηση της Ν-ΕΤ ως ένα πραγματικά διεπιστημονικό πεδίο που μπορεί να ενισχύσει τις αντιλήψεις των παιδιών για τη διασύνδεση της φύσης με διαφορετικά γνωστικά πεδία (Lin et al., 2015), όπως τις Φυσικές Επιστήμες (Science), την Τεχνολογία (Technology), τη Μηχανική (Engineering), τα Μαθηματικά (Mathematics) (STEM), καθώς και τη Βιολογία και τη Χημεία. Η διεπιστημονική φύση της Ν-ΕΤ μπορεί να λειτουργήσει ανατρεπτικά στον υφιστάμενο κατακερματισμό (Tretter, Jones, Andre, Negishi, & Minogue, 2006) των γνωστικών αντικειμένων υπό τους τίτλους διακριτών μαθημάτων και να απομακρύνει τους εκπαιδευτικούς από κάθε αίσθημα ανασφάλειας στην προσπάθειά τους να εντάξουν στο μάθημά τους θέματα από επιστημονικά πεδία που δεν εμπίπτουν στην εξειδίκευσή τους.

Μεθοδολογία έρευνας

Η παρούσα έρευνα θα επικεντρωθεί στη σύγκριση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της διδασκαλίας με τη βοήθεια εφαρμογών για υπολογιστές και έξυπνες φορητές συσκευές (ταμπλέτες) και της θεματικής διδασκαλίας στο διεπιστημονικό πεδίο της Ν-ΕΤ σε παιδιά πρώτης σχολικής ηλικίας.

Πιο συγκεκριμένα, θα εξετάσει και θα συγκρίνει τα αποτελέσματα της διδακτικής παρέμβασης με τη χρήση των αναπτυξιακά κατάλληλων εκπαιδευτικών εφαρμογών υπό μορφή ψηφιακών παιχνιδιών οι οποίες θα εκτελούνται σε υπολογιστές και σε έξυπνες φορητές συσκευές για την εισαγωγή των μικρών παιδιών σε στοιχεία του Νανόκοσμου, τη σύγκριση, ταξινόμηση και σειριοθέτηση στοιχείων του μακρόκοσμου και του Νανόκοσμου, καθώς και για τη χρήση λέξεων που αφορούν στη δομή του ατόμου, τα βασικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του ατόμου και τις κινήσεις τους, σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο διδασκαλίας. Το κύριο ερευνητικό ερώτημα είναι το εξής: Επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε παιδιά πρώτης σχολικής ηλικίας η διδασκαλία στοιχείων Ν-ΕΤ με τη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού για έξυπνες φορητές συσκευές και υπολογιστές σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία;

Για την επίτευξη θα δημιουργήσουμε τρεις ισοδύναμες ομάδες οι οποίες θα προσεγγίσουν θεμελιώδη στοιχεία της Ν-ΕΤ. Η ομάδα με την παραδοσιακή διδασκαλία (ομάδα ελέγχου) και οι άλλες δύο, δηλαδή η πρώτη πειραματική ομάδα με την χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού μέσω υπολογιστή και η δεύτερη πειραματική ομάδα με τη χρήση εκπαιδευτικού λογισμικού για έξυπνες φορητές συσκευές (ταμπλέτες). Πριν και μετά το τέλος των διδακτικών παρεμβάσεων, θα εξετάσουμε και τις τρεις ομάδες προκειμένου να διαπιστώσουμε αν υπήρχαν διαφορές ως προς το επίπεδο «νανογραμματισμού» των παιδιών. Ειδικότερα, η κάθε ομάδα θα περάσει από τρεις φάσεις. Η πρώτη και τρίτη φάση θα περιλαμβάνει ατομική συνέντευξη με τις ίδιες ημιδομημένες ερωτήσεις για κάθε παιδί, ενώ η δεύτερη φάση θα είναι αυτή της διδασκαλίας στοιχείων Ν-ΕΤ. Στο πλαίσιο της συνέντευξης θα δοθεί στα παιδιά ένα τεστ το οποίο θα μετράει τις γνώσεις τους στη σύγκριση, ταξινόμηση και σειριοθέτηση

στοιχείων του μακρόκοσμου και του Νανόκοσμου, καθώς και στη χρήση λέξεων που αφορούν στα βασικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του ατόμου.

Ερευνητικά εργαλεία

Για τη διεξαγωγή του κυρίου ερευνητικού ερωτήματος μας, σε όσες διδασκαλίες απαιτηθεί η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών, θα δημιουργήσουμε αναπτυσσόμενα κατάλληλα για παιδιά πρώτης σχολικής ηλικίας εκπαιδευτικό λογισμικό το οποίο θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από τις παραδοσιακές τεχνολογίες (υπολογιστές), όσο και από τις έξυπνες φορητές συσκευές. Ειδικότερα, το εν λόγω λογισμικό θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (α) να είναι φιλικό στη χρήση, ώστε να μπορούν άνετα να το χειριστούν μικρά παιδιά χωρίς ιδιαίτερη βοήθεια από κάποιον ενήλικα, (β) να είναι κατάλληλο για παιδιά πρώτης σχολικής ηλικίας, και (γ) να συνδυάζει κίνηση και ήχο. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να συγκρίνουμε με ακρίβεια τον βαθμό της αποτελεσματικότητας των παλιών και νέων τεχνολογιών στην εκμάθηση στοιχείων N-ET από τα μικρά παιδιά.

Προκειμένου να εξετάσουμε τις γνώσεις N-ET των παιδιών και συγκεκριμένα αναφορικά με τη δομή του ατόμου, τα βασικά χαρακτηριστικά των στοιχείων του ατόμου, καθώς και τη χρήση των κατάλληλων για το υπό μελέτη θέμα λέξεων θα κατασκευάσουμε ένα τεστ το οποίο θα μετρά τον «νανογραμματισμό» των παιδιών ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της συγκεκριμένης ηλικιακής κλίμακας. Ο λόγος για τον οποίο θα κατασκευάσουμε ένα τέτοιο κριτήριο ελέγχου αφορά στην έλλειψη ενός σχετικού κριτηρίου για την εκτίμηση των σχετικών με τη N-ET γνώσεων στα μικρά παιδιά.

Η παρούσα μελέτη, η οποία αποτελεί μέρος διδακτορικής έρευνας για τις ΤΠΕ στην εκπαίδευση και τη μάθηση των μικρών παιδιών βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και με ιδιαίτερο ενδιαφέρον αναμένονται τα αρχικά αποτελέσματά της από την πιλοτική εφαρμογή της.

Αναφορές

- Aladé, F., Lauricella, A. R., Beaudoin-Ryan, L., & Wartella, E. (2016). Measuring with Murray: Touchscreen technology and preschoolers' STEM learning. *Computers in Human Behavior*, 62, 433-441.
- Barak, M., & Assal, M. (2018). Robotics and STEM learning: students' achievements in assignments according to the P3 Task Taxonomy-practice, problem solving, and projects. *International Journal of Technology and Design Education*, 28(1), 121-144.
- Dorouka, P., Papadakis, St., & Kalogiannakis, M. (2020). Tablets & apps for promoting Robotics, Mathematics, STEM Education and Literacy in Early Childhood Education. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 14(2), 255-274.
- Etcuban, J. O., & Pantinople, L. D. (2018). The Effects of Mobile Application in Teaching High School Mathematics. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 13(3), 249-259.
- Flewitt, R., Kucirkova, N., & Messer, D. (2014). Touching the virtual, touching the real: iPads and enabling literacy for students experiencing disability. *Australian Journal of Language & Literacy*, 37(2), 107-116.
- Ghatts, N. I., & Carver, J. S. (2012). Integrating nanotechnology into school education: a review of the literature. *Research in Science & Technological Education*, 30(3), 271-284.
- Goodwin, K. (2013). *iPads & Young Children: An Essential Guide for Parents*. Retrieved July 15, 2019, from <http://goo.gl/ZYPiaa>
- Han, I., & Black, J. B. (2011). Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, 57(4), 2281-2290.
- Heider, K. L., & Jalongo, M. R. (Eds) (2014). *Young Children and Families in the Information Age: Applications of Technology in Early Childhood* (Vol. 10). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting education in "educational" apps lessons from the science of learning'. *Psychological Science in the Public Interest*, 16(1), 3-34.

- Jones, M. G., Paechter, M., Yen, C. F., Gardner, G., Taylor, A., & Tretter, T. (2013). Teachers' concepts of spatial scale: An international comparison. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2462-2482.
- Kalogiannakis, M., Ampartzaki, M., Papadakis, St., & Skaraki, E. (2018). Teaching Natural Science Concepts to Young Children with Mobile Devices and Hands-on Activities. A Case Study. *International Journal of Teaching and Case Studies*, 9(2), 171-183.
- Lin, S. Y., Wu, M. T., Cho, Y. I., & Chen, H. H. (2015). The effectiveness of a popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students in I-Lan City. *Research in Science & Technological Education*, 33(1), 22-37.
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2016). Developing fundamental programming concepts and computational thinking with ScratchJr in preschool education: a case study. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 10(3), 187-202.
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2018a). Educational apps from the Android Google Play for Greek preschoolers: A systematic review. *Computer & Education*, 116, 139-160.
- Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2018b). The effectiveness of computer and tablet assisted intervention in early childhood students' understanding of numbers. An empirical study conducted in Greece. *Education and Information Technologies*, 23(5), 1849-1871.
- Papadakis, S. & Kalogiannakis, M. (2017). Mobile educational applications for children. What educators and parents need to know. *International Journal of Mobile Learning and Organisation (Special Issue on Mobile Learning Applications and Strategies)*, 11(3), 256-277.
- Pila, S., Aladé, F., Sheehan, K. J., Lauricella, A. R., & Wartella, E. A. (2019). Learning to code via tablet applications: An evaluation of Daisy the Dinosaur and Kodable as learning tools for young children. *Computers & Education*, 128, 52-62.
- Planinšič, G., & Kovač, J. (2008). Nano goes to school: a teaching model of the atomic force microscope. *Physics Education*, 43(1), 37.
- Reber, T. P., & Rothen, N. (2018). Educational App-Development needs to be informed by the Cognitive Neurosciences of Learning & Memory. *NPJ Science of Learning*, 3(22), 1-2.
- Rogowsky, B. A., Terwilliger, C. C., Young, C. A., & Kribbs, E. E. (2018). Playful learning with technology: the effect of computer-assisted instruction on literacy and numeracy skills of preschoolers. *International Journal of Play*, 7(1), 60-80.
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. US: NSTA Press.
- Taylor, A., Jones, G., & Pearl, T. P. (2008). Bumpy, sticky, and shaky: nanoscale science and the curriculum. *Science Scope*, 31(7), 28-35.
- Tretter, T. R., Jones, M. G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 43(3), 282-319.
- Vaala, S., Ly, A., & Levine, M. H. (2015). Getting a Read on the App Stores: A Market Scan and Analysis of Children's Literacy Apps. Full Report. In *Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop*. Joan Ganz Cooney Center at Sesame Workshop. 1900 Broadway, New York, NY 10023.
- Zydney, J. M., & Warner, Z. (2016). Mobile apps for science learning: Review of research. *Computers & Education*, 94, 1-17.
- Σπύρτου, Α., Μάνου, Λ., Πέικος, Γ., & Παπαδοπούλου, Π. (2018). *Διερευνώντας τα Μυστικά του Νανόκοσμου*. Αθήνα: Gutenberg - Δαρδανός.