

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2019)

6ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»



Αξιοποίηση των Jupyter Notebooks στην εκπαιδευτική διαδικασία

Ανδριάνα Δημητρίου, Παναγιώτης Κοτσαμπόπουλος,
Νικόλαος Χατζηαργυρίου

Βιβλιογραφική αναφορά:

Δημητρίου Α., Κοτσαμπόπουλος Π., & Χατζηαργυρίου Ν. (2022). Αξιοποίηση των Jupyter Notebooks στην εκπαιδευτική διαδικασία. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 548–559. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/3674>

Αξιοποίηση των Jupyter Notebooks στην εκπαιδευτική διαδικασία

Ανδριάνα Δημητρίου, Παναγιώτης Κοτσαμπόπουλος, Νικόλαος Χατζηαργυρίου
andriana_dim@hotmail.com, kotsa@power.ece.ntua.gr, nh@power.ece.ntua.gr
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο
Πολυτεχνείο

Περίληψη

Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την εκπαίδευση. Νέες δεξιότητες, όπως η υπολογιστική σκέψη, χρειάζονται στους μαθητές ώστε να ανταποκριθούν στις ανάγκες της σημερινής εποχής. Αυτό προϋποθέτει τον σχεδιασμό αντίστοιχων μαθημάτων, αξιοποιώντας τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα. Ένα υποσχόμενο εργαλείο είναι το Jupyter Notebook, μία διαδραστική πλατφόρμα που παρέχει ένα περιβάλλον ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού, συνδυάζοντας κείμενο, εικόνες και κώδικα, σε ένα ενιαίο έγγραφο, προσβάσιμο μέσω του διαδικτύου. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το εκπαιδευτικό πλαίσιο ένταξής του στη σχολική εκπαίδευση, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία. Επιπλέον περιγράφονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης του ως εκπαιδευτικό εργαλείο και παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αξιοποίησης του στη σχολική εκπαίδευση. Τέλος παρουσιάζεται ενδεικτική εφαρμογή που αναπτύχθηκε για την εκπαίδευση φοιτητών στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Η εργασία αυτή αποτελεί την πρώτη αναφορά αξιοποίησης των Jupyter Notebooks στην εκπαίδευση στην ελληνική βιβλιογραφία.

Λέξεις κλειδιά: Jupyter Notebooks, Εκπαίδευση, ΤΠΕ, Εργαλεία ανοικτού κώδικα, Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Εισαγωγή

Οι ταχύτερες τεχνολογικές και κοινωνικές εξελίξεις υπαγορεύουν μια νέα διδακτική προσέγγιση η οποία στοχεύει σε μια πολύπλευρη εκπαίδευση του ατόμου και στην απόκτηση ενός γενικού υποβάθρου μέσα από την αλληλεπίδραση, την αυτενέργεια και τον πειραματισμό (Βουoniάνου, 2006). Αναμφίβολα η διδασκαλία και η μάθηση μπορούν να ωφεληθούν σημαντικά από την ενσωμάτωση των ΤΠΕ, καθώς συνεισφέρουν στον σχεδιασμό εκπαιδευτικών περιβαλλόντων και δραστηριοτήτων που ευνοούν την αύξηση της προσωπικής αυτονομίας των μαθητών, ενθαρρύνουν την κριτική σκέψη και μεταδίδουν στους μαθητές το ενδιαφέρον για τη μάθηση (Φραγκάκη κ.ά., 2007; Φραγκάκη, 2007).

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι απαιτούνται σημαντικές αλλαγές για την προσαρμογή της εκπαίδευσης στις ανάγκες της σημερινής εποχής (Yadav et al., 2016). Σύμφωνα με τα νέα δεδομένα γίνονται προσπάθειες να προωθηθεί στα σχολεία η εκπαίδευση γύρω από τομείς της επιστήμης που έχουν εξελιχθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια και αποκτούν όλο και περισσότερες εφαρμογές σε πτυχές της καθημερινής ζωής, όπως η Επιστήμη των δεδομένων (Data science), η οποία συνδέεται με τη διδασκαλία Στατιστικής (Burrill & Biehler, 2011), αλλά και με τις Κοινωνικές επιστήμες (Aoun, 2017; Harari, 2017; O'Neil, 2016; Weigend, 2017). Παράλληλα απασχολεί ιδιαίτερα τους ερευνητές η ενσωμάτωση στην εκπαίδευση σε σχολικό επίπεδο της Επιστήμης των υπολογιστών (Computer science), η οποία περιλαμβάνει όχι μόνο τη γνώση προγραμματισμού, αλλά και γενικότερα τις γνώσεις και δεξιότητες που καλλιεργούνται μέσω των τεχνολογιών της πληροφορικής. Επίσης συνδέεται με την

υπολογιστική σκέψη, μια δεξιότητα απαραίτητη στους μαθητές και μελλοντικούς εργαζόμενους που καλούνται να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που δημιουργούν οι ταχείες κοινωνικές και τεχνολογικές αλλαγές (Wing, 2006).

Ειδικότερα, σε πρόσφατο επιστημονικό Συμπόσιο που πραγματοποιήθηκε στη Γερμανία συζητήθηκαν οι στόχοι για την εκπαίδευση της Επιστήμης των Δεδομένων σε σχολικό επίπεδο (Biehler et al., 2018), σε μια προσπάθεια καλύτερης κατανόησης της «φύσης» της επιστήμης αυτής. Πρόκειται για ένα διεπιστημονικό πεδίο που μπορεί να οριστεί ως η τέχνη της παραγωγής πληροφοριών και γνώσεων μέσω των δεδομένων. Η ανάπτυξη της προέκυψε με την άνοδο της ψηφιοποίησης, καθώς ένας μεγάλος όγκος δεδομένων και στοιχείων για σημαντικά κοινωνικά θέματα γίνονται ολοένα και πιο προσιτά στο κοινό. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η ανάλυση και σωστή ερμηνεία των δεδομένων, η κατανόηση στατιστικών αναλύσεων καθώς και η λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων είναι καινούριες δεξιότητες που πρέπει να αρχίσουν να καλλιεργούνται στους νέους με στόχο να τους προετοιμάσουν για τις ανάγκες της ψηφιακής εποχής (Engel et al., 2016; Engel, 2016). Η διαπίστωση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εξοικείωση με τη Στατιστική και την Επιστήμη των δεδομένων στο σχολείο αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία (Engel, 2017).

Στο πλαίσιο αυτό, ένα από τα εργαλεία που αποκτά ευρύτερη εφαρμογή στη διδασκαλία τα τελευταία χρόνια είναι το Jupyter Notebook (Pérez & Granger, 2015). Πρόκειται για μια πλατφόρμα που συνδυάζει αφηγηματικό κείμενο με εικόνες, μαθηματικές εξισώσεις, κώδικα και τα αποτελέσματα του κώδικα αυτού και προσφέρει τη δυνατότητα δημοσίευσης ενός υπολογιστικού εγγράφου, που μπορεί εύκολα να διαβαστεί και να αναπαραχθεί (Kluwyer et al., 2016). Αυτός ο συνδυασμός περιεχομένου και κώδικα δημιουργεί μια ισχυρή νέα μορφή επικοινωνίας που βασίζεται στην αλληλεπίδραση με τα δεδομένα και καθιστά το Jupyter Notebook ένα ελκυστικό μαθησιακό περιβάλλον (Perkel, 2018). Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι αναφέρεται σε συζητήσεις της ακαδημαϊκής κοινότητας για την αναβάθμιση της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Biehler et al., 2018; Tissenbaum et al., 2018) και περιλαμβάνεται σε αντίστοιχα προτεινόμενα εκπαιδευτικά σενάρια (Heinemann et al., 2018; Yu & Chen, 2018), το Jupyter Notebook φαίνεται να είναι ένα από τα εργαλεία που μπορεί να διαδραματίσει υποστηρικτικό ρόλο στη σύνδεση του προγράμματος σπουδών, με την Επιστήμη των Δεδομένων και των Υπολογιστών, στο στάδιο της σχολικής εκπαίδευσης.

Αν και υπάρχουν αρκετές εφαρμογές των Jupyter Notebooks στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, η αξιοποίησή τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν έχει διερευνηθεί συστηματικά. Αυτό πιθανόν οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες που δυσχεραίνουν τη χρήση των ΤΠΕ στη σχολική εκπαίδευση, όπως η έλλειψη ενημέρωσης των εκπαιδευτικών για τα νέα εκπαιδευτικά εργαλεία και τους τρόπους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, η έλλειψη τεχνολογικού εξοπλισμού στα σχολεία, καθώς και η έλλειψη υποστήριξης και ενθάρρυνσης σε επίπεδο σχολικής μονάδας. Ταυτόχρονα ο φόρτος εργασίας και η ανελαστικότητα του αναλυτικού προγράμματος σπουδών, δεν επιτρέπουν στους εκπαιδευτικούς να αποκλίνουν από τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας, αποθαρρύνοντας έτσι τη λήψη πρωτοβουλιών και τον πειραματισμό με νέα εκπαιδευτικά εργαλεία (Μήτκας κ.ά., 2014). Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουν και διεθνείς έρευνες για τη χρήση νέων εργαλείων στη σχολική εκπαίδευση (Dawson & Rakes, 2003; Granger et al., 2002; Smarkola, 2011). Εντούτοις, η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας απαιτεί μεταρρυθμίσεις στα εκπαιδευτικά σχολικά προγράμματα, ώστε να αξιοποιηθούν περισσότερο τέτοιου είδους εργαλεία. Ωστόσο, χρειάζεται πρώτα να απαντηθούν κρίσιμα ερωτήματα που αφορούν την έκταση, τη μεθοδολογία τον τρόπο ένταξης των νέων τεχνολογιών και τους στόχους που εξυπηρετούν, γεγονός που προϋποθέτει συστηματική διερεύνηση και συζητήσεις της εκπαιδευτικής και ακαδημαϊκής κοινότητας για τη χάραξη νέων πολιτικών στην εκπαίδευση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης του Jupyter Notebook στην εκπαιδευτική διαδικασία. Σε ποιες ανάγκες της σύγχρονης σχολικής εκπαίδευσης θα μπορούσε να ανταποκριθεί, ποια εφόδια μπορεί να προσφέρει στους μαθητές και κατά πόσο οι μαθητές είναι σε θέση να αλληλεπιδράσουν με αυτό; Αναδεικνύονται αντιπροσωπευτικές μελέτες περίπτωσης στη σχολική εκπαίδευση, όπου η ένταξη του εργαλείου σε διεθνές επίπεδο φαίνεται να βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Παράλληλα, η εργασία αποσκοπεί στην γνωριμία της ελληνικής εκπαιδευτικής και ακαδημαϊκής κοινότητας με το εργαλείο αυτό, η χρήση του οποίου μέχρι και στην ανώτερη εκπαίδευση έχει εισαχθεί σχετικά πρόσφατα και δεν υπάρχει ακόμη ιδιαίτερη εξοικείωση με αυτό.

Τι είναι το Jupyter Notebook

Οι δημιουργοί του Jupyter Notebook το περιγράφουν ως ένα σύνολο εργαλείων ανοικτού κώδικα (open-source web application) που επιτρέπει διαδραστική και πειραματική επεξεργασία δεδομένων και ως μια πλατφόρμα για τη δημιουργία υπολογιστικών αφηγήσεων. Αποτελεί την εξέλιξη της IPython (Pérez & Granger, 2007), ενός εργαλείου για διαδραστική χρήση της γλώσσας Python. Υποστηρίζει περισσότερες από 100 γλώσσες προγραμματισμού, με έμφαση στην Python και περιλαμβάνει ένα οικοσύστημα προεκτάσεων για το οποίο έχει συμβάλει μια μεγάλη κοινότητα.

Το Jupyter Notebook είναι ένα έγγραφο που υποστηρίζει την ανάμειξη δεδομένων, ζωντανού κώδικα (live code), εξισώσεων, οπτικοποιημένου υλικού (εικόνες, βίντεο) και αφηγηματικού κειμένου. Ο κώδικας είναι οργανωμένος σε κελιά (cells), τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν και να εκτελεστούν μεμονωμένα. Η έξοδος από κάθε κελί εμφανίζεται ακριβώς κάτω από αυτό και αποθηκεύεται ως μέρος του εγγράφου. Τα Jupyter Notebooks μπορούν να εμφανίσουν γραφικές παραστάσεις, μαθηματικές εξισώσεις, ακόμη και διαδραστικά γραφικά στοιχεία (widgets). Το κείμενο μπορεί να παρεμβληθεί με τον κώδικα και τα αποτελέσματα ώστε να εξηγήσει και να τονίσει συγκεκριμένα μέρη, σχηματίζοντας μια πλούσια υπολογιστική αφήγηση (Kluyver et al., 2016).

Οι δυνατότητες αυτές επιτρέπουν την ανάπτυξη του Jupyter Notebook ως χώρο εργασίας για την προβολή και εξερεύνηση των διδασκόμενων εννοιών. Λόγω αυτής της χρησιμότητας καθώς και της εύκολης διάδοσής του, συνιστάται ως εκπαιδευτικό περιβάλλον. Από τους εκπαιδευτικούς μπορεί να αξιοποιηθεί για ένα ευρύ φάσμα μαθησιακών σκοπών. Για την ανάπτυξη και οργάνωση διδακτικού υλικού του μαθήματος, την παρουσίαση διαλέξεων, την εκτέλεση ζωντανού κώδικα, την ανάθεση εργασιών καθώς και την επίλυσή τους στην τάξη, τον σχεδιασμό εργαστηρίων, τη δημιουργία ανοικτών ψηφιακών μαθημάτων κ.ά.. Το βασικό χαρακτηριστικό που το καθιστά ελκυστικό στους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς, είναι ότι συνδυάζει τις εξηγήσεις που παραδοσιακά υπάρχουν στα βιβλία με την αλληλεπίδραση μιας εφαρμογής.

Πλεονεκτήματα του Jupyter Notebook στην Εκπαίδευση

Σε αντίθεση με την σχολική εκπαίδευση, όπου οι νέες τεχνολογίες και εργαλεία εισάγονται πιο σταδιακά, στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση υπάρχει περισσότερος χώρος για εξερεύνηση νέων μεθόδων διδασκαλίας. Ως εκ τούτου, η χρήση των Jupyter Notebooks και των προγόνων τους, IPython Notebooks, έχει απασχολήσει ήδη από την εμφάνισή τους την ακαδημαϊκή κοινότητα και έτσι υπάρχει μια σχετικά εκτενής βιβλιογραφία αναφορικά με εφαρμογές στη διδασκαλία μαθημάτων για φοιτητές σε διάφορα επιστημονικά αντικείμενα, όπως η Επιστήμη των Δεδομένων (Brunner & Kim, 2016), η Τεχνητή Νοημοσύνη (O'Hara et al., 2015), η Στατιστική (Toews, 2017; Çetinkaya-Rundel & Rundel, 2018), οι Πιθανότητες

(Kany & Louédoc, 2018), η Αριθμητική Ανάλυση (Ketcheson, 2014), οι Διαφορικές εξισώσεις (Barba & Forsyth, 2018), η Αεροδυναμική (Barba & Mesnard, 2019), καθώς και στη διεξαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων σε αντικείμενα ηλεκτρολόγων (Cardoso et al., 2019a; 2019b), μηχανολόγων (Suárez et al., 2018) και χημικών μηχανικών (Srnec et al., 2016). Το πλήθος των τεκμηριωμένων εφαρμογών που έχουν πραγματοποιηθεί ως σήμερα συνέβαλε στο να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση των Jupyter Notebooks στη διδασκαλία, τα οποία συνοψίζονται παρακάτω.

Ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό του Jupyter Notebook αποτελεί ο συνδυασμός θεωρίας, παραδειγμάτων και πρακτικών εφαρμογών, που βελτιώνει τη διαδικασία της μάθησης καθώς επιτρέπει την καλύτερη απορρόφηση των εννοιών του μαθήματος και συνεπώς την ενίσχυση της γνώσης. Προκαλείται αξιοσημείωτη διαφορά στην κατανόηση των μαθητών όταν η κάθε έννοια ακολουθείται από ένα παράδειγμα ή μια δραστηριότητα, ειδικά μάλιστα όταν η δυσκολία είναι σταδιακά αυξανόμενη (Barba & Forsyth, 2018).

Άλλο ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα είναι το διαδραστικό περιεχόμενο. Η δυνατότητα αλληλεπίδρασης αυξάνει το ενδιαφέρον και τα κίνητρα των μαθητών (Perkel, 2018; Cardoso et al., 2019a; 2019b) καθώς έχουν την ευκαιρία να ξεφύγουν από την παθητική προβολή του περιεχομένου του μαθήματος και να ασχοληθούν με την εξερεύνηση, ανάλυση, σύνθεση και αξιολόγησή του με ενεργούς τρόπους. Αυτή η δυνατότητα πειραματισμού επηρεάζει ουσιαστικά τη νοοτροπία των μαθητών, ενθαρρύνοντάς τους να μάθουν «να μαθαίνουν» και συμβάλλοντας στη θεμελίωση μιας διαισθητικής αντίληψης του αντικειμένου το οποίο εξετάζουν. Παράλληλα τους βοηθά να αναπτύξουν δεξιότητες όπως η κριτική σκέψη και η δημιουργικότητα.

Χρειάζεται επίσης να σημειωθεί ότι η εισαγωγή της συστηματικής ενεργού μάθησης ως τρόπου απόκτησης γνώσεων, μέσω της χρήσης των Jupyter Notebooks, όχι μόνο ευνοεί την αύξηση της συμμετοχής των μαθητών στο μάθημα και τη βελτίωση των επιδόσεών τους (Suárez et al., 2018, Cardoso et al., 2019a; 2019b), αλλά προσφέρει και οφέλη πέρα από τα όρια του εκάστοτε μαθήματος. Η διαδραστικότητα οδηγεί στην εμπλοκή των μαθητών με το υλικό καλλιεργώντας το ενδιαφέρον για την εξερεύνηση των εννοιών, γεγονός που είναι πιθανό να τροφοδοτήσει το ενδιαφέρον και τη ενεργή συμμετοχή τους και σε άλλα μαθήματα.

Ένα ακόμη βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες να οργανώνουν κώδικα, απεικονίσεις και κείμενο σε μια υπολογιστική αφήγηση. Έτσι, αφενός ενισχύονται οι επικοινωνιακές δεξιότητες των μαθητών. Αφετέρου, η έκθεση σε μαθησιακές εμπειρίες που περιέχουν μεθοδολογίες και κώδικα τους εξοικειώνει με τον προγραμματισμό και συμβάλλει στη συγκρότηση των βασικών θεμελίων της υπολογιστικής σκέψης, που θεωρείται μια πολύ βασική δεξιότητα στη σημερινή εποχή (Kluyver et al., 2016; Perkel, 2018).

Τέλος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα των Jupyter Notebooks είναι η κοινότητα στην οποία έχει αναπτυχθεί, η οποία προωθεί την ελεύθερη πρόσβαση και τη συνεργασία (Ketcheson, 2014). Η ενσωμάτωση των εργαλείων σε μαθήματα διασφαλίζει ότι το περιεχόμενό τους παραμένει προσβάσιμο από όλους τους μαθητές και εκτός τάξης, γεγονός που ευνοεί ισότητα και την αυτόνομη μάθηση. Αυτό βεβαίως εξυπηρετεί και τους εκπαιδευτικούς αφού το υλικό ενός μαθήματος μπορεί να διαδοθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί και από άλλους (Suárez et al., 2018). Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι για την απλή χρήση του δεν απαιτείται εγκατάσταση, καθώς υποστηρίζεται από πολλές υπηρεσίες cloud.

Χρήση του Jupyter Notebook στη σχολική Εκπαίδευση

Αναφορικά με τις εκπαιδευτικές ανάγκες που συζητήθηκαν παραπάνω, σε ένα προτεινόμενο σχέδιο για την ενσωμάτωση της Επιστήμης των Δεδομένων (ΕΔ) στο πρόγραμμα σπουδών των σχολείων της μέσης εκπαίδευσης στη Γερμανία (Heinemann et al., 2018), περιγράφεται

η μορφή του μαθήματος ΕΔ που απευθύνεται σε μαθητές ηλικίας 15-18 χρονών. Το μάθημα αυτό περιλαμβάνει διάφορες ενότητες με αρχικό στόχο να εισάγει τους μαθητές στις έννοιες της ΕΔ, να βελτιώσει την στατιστική τους σκέψη και να δημιουργήσει μια καλύτερη αντίληψη για τα δεδομένα και για το πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πληροφοριών με έμφαση στις στατιστικές μεθόδους. Για το σκοπό αυτό συνίσταται από τους συγγραφείς της πρότασης αυτής η χρήση της Python σε Jupyter Notebooks, καθώς αποτελούν ιδανικό περιβάλλον για την εξερεύνηση και απεικόνιση των δεδομένων.

Σε μία αντίστοιχη προσπάθεια εκσυγχρονισμού του προγράμματος εκπαίδευσης στην Κίνα δημοσιεύτηκε μία πρόταση σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός εγχειριδίου για τη διδασκαλία Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στο λύκειο, με βάση την υπολογιστική σκέψη (Yu & Chen, 2018). Σύμφωνα τη δημοσίευση αυτή η υπολογιστική σκέψη είναι μια σειρά από νοητικές δραστηριότητες που καλύπτουν το εύρος της επιστήμης των υπολογιστών, όπως η επίλυση προβλημάτων, ο σχεδιασμός συστημάτων, διαδικασιών και μεθόδων. Οι μαθητές με υπολογιστική σκέψη ορίζουν και λύνουν προβλήματα χρησιμοποιώντας λογικούς αλγορίθμους και οργανώνουν ορθολογικά τα δεδομένα, κρίνοντας, αναλύοντας και συνθέτοντας διάφορες πηγές πληροφοριών. Οι δεξιότητες αυτές διαμορφώνονται κατά την εκπαιδευτική διαδικασία και είναι πολύτιμες για τους μαθητές του 21ου αιώνα. Ωστόσο, στο στάδιο της σχολικής εκπαίδευσης, εξακολουθεί να μη δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην καλλιέργειά τους. Στο πλαίσιο αυτό οι συγγραφείς εκθέτουν προτάσεις για τη διαμόρφωση του μαθήματος της TN οι οποίες συνοπτικά βασίζονται στην υπολογιστική σκέψη, στην ενεργό μάθηση μέσω δραστηριοτήτων και στην γλώσσα Python. Ένα από τα εργαλεία που προτείνονται είναι το Jupyter Notebook, καθώς αποτελεί μια πλατφόρμα που συνεργάζεται άψογα με το οικοσύστημα της Python επιτρέποντας στους μαθητές να κατανοήσουν τις έννοιες της TN και να εξασκηθούν σε πρακτικές εφαρμογές. Επιπρόσθετα η δομή αυτού του προγραμματιστικού περιβάλλοντος βοηθά στην καλλιέργεια της υπολογιστικής σκέψης και επιπλέον ευαισθητοποιεί τους μαθητές για την σημασία της συνεργασίας.

Εφαρμογές των Jupyter Notebooks για μαθητές σχολείου: μελέτες περίπτωσης

Συγκρίνοντας μεθόδους ενεργού μάθησης στον προγραμματισμό

Υλοποιήθηκε πρόγραμμα απόκτησης δεξιοτήτων προγραμματισμού για μαθητές που σκοπεύουν να ασχοληθούν με τομείς των πεδίων STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) από το τμήμα High Performance Research Computing του Πανεπιστημίου του Τέξας A&M των ΗΠΑ με διάρκεια μιας εβδομάδας. Στο πρόγραμμα μελετήθηκαν τρεις καλές προσεγγίσεις εκμάθησης προγραμματισμού με σκοπό να συγκριθούν τα πλεονεκτήματά τους (Chakravorty et al., 2019). Οι μέθοδοι αυτές ήταν i) η σύνδεση του κώδικα με πρακτικές εφαρμογές, ii) η βαθμιαία εκμάθηση στοιχείων υπολογιστικής σκέψης μέσω καθοδηγούμενων ασκήσεων με Jupyter Notebooks, iii) η μάθηση που βασίζεται σε προβλήματα (problem-based learning). Για την έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα Python καθώς υποστηρίζει ικανοποιητικά αυτές τις μεθόδους. Οι στόχοι του προγράμματος ήταν να αυξήσει το ενδιαφέρον των συμμετεχόντων, να αναπτύξει την κατανόησή τους για πολύπλοκες υπολογιστικές έννοιες και να τους παρέχει ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον με πρακτικές εφαρμογές. Οι συμμετέχοντες ήταν 23 και χωρίστηκαν σε δύο ομάδες ανάλογα με την εμπειρία τους στον προγραμματισμό (περισσότερο και λιγότερο εξοικειωμένοι). Οι ομάδες αυτές συμμετείχαν σε τρεις δραστηριότητες βασιζόμενες στις τρεις προαναφερόμενες εκπαιδευτικές μεθόδους.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πρώτη μέθοδος κράτησε αμείωτο το ενδιαφέρον των μαθητών σε απλά σενάρια εφαρμογών, αλλά όχι και στα πιο πολύπλοκα, καθώς χρειαζόνταν

περισσότερες προγραμματιστικές ικανότητες (το 30% των μαθητών που δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία δήλωσαν ότι δυσκολεύτηκαν). Με τη δεύτερη μέθοδο, τα Jupyter Notebooks φάνηκε ότι βοήθησαν τους μαθητές να συλλάβουν γρήγορα τις νέες προγραμματιστικές έννοιες που εξετάζαν. Το 40% εξ αυτών δήλωσαν ότι δυσκολεύτηκαν να αντιληφθούν κάποιες έννοιες, ωστόσο όλοι κατάφεραν να ολοκληρώσουν με επιτυχία τις ασκήσεις. Αυτό έδειξε ότι είναι καταλληλότερα σε περιπτώσεις που οι μαθητές έχουν διαφορετικά επίπεδα γνώσης προγραμματισμού. Η τρίτη μέθοδος μέσω της επίλυσης προβλημάτων, ενθάρρυνε τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα ένα πρόβλημα και να προσπαθήσουν να το λύσουν με εφευρετικούς τρόπους γεγονός που κινητοποίησε τη συμμετοχή τους και πρόσφερε βαθύτερη γνώση για το εξεταζόμενο θέμα. Πάντως ένα ποσοστό 80% των μαθητών συμφώνησαν ότι η μέθοδος αυτή ήταν πιο απαιτητική σε σενάρια που υπήρχε ένας μεγάλος αριθμός πιθανών λύσεων για ένα πρόβλημα. Συνολικά αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να προσελκύσουν περισσότερο τους μαθητές να επιλέξουν μια σταδιοδρομία σχετική με την επιστήμη των υπολογιστών.

Ένα θερινό πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης για μαθήτριες λυκείου

Με αφορμή την μειωμένη παρουσία των γυναικών σε επαγγέλματα που σχετίζονται με την επιστήμη των υπολογιστών, διοργανώθηκε από το Εργαστήριο Τεχνητής Νοημοσύνης του Πανεπιστημίου του Stanford των ΗΠΑ, ένα θερινό πρόγραμμα δύο εβδομάδων, με 24 θέσεις, που απευθυνόταν σε μαθήτριες λυκείου και αφορούσε την Επιστήμη των υπολογιστών (ΕΥ) και συγκεκριμένα την Τεχνητή νοημοσύνη (ΤΝ) (Vachovsky et al., 2016). Στόχος του προγράμματος ήταν να αυξήσει τις τεχνικές γνώσεις, να προσελκύσει το ενδιαφέρον και να καλλιεργήσει την αυτοπεποίθηση των συμμετεχόντων ότι μπορούν να επιτύχουν επαγγελματικά σε αυτόν τον τομέα. Μάλιστα το πρόγραμμα επιδίωξε να επισημάνει πώς έννοιες της ΤΝ μπορούν βοηθήσουν στην επίλυση κοινωνικών προβλημάτων, ένα θέμα που φαίνεται να προκαλεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις μαθήτριες. Πιο συγκεκριμένα, οι συμμετέχουσες είχαν την ευκαιρία να ασχοληθούν με ερευνητικά projects όπου στο καθένα από αυτά εφαρμόζονται οι έννοιες της ΤΝ για ανθρωπιστικούς σκοπούς, όπως ο σχεδιασμός ασφαλέστερων νοσοκομείων, η παροχή βοήθειας σε έκτακτες ανάγκες, η αναγνώριση καρκινικών κυττάρων μέσω γενετικού κώδικα και η ασφαλέστερη οδήγηση. Τα projects αυτά σχεδιάστηκαν σε προγραμματιστικά περιβάλλοντα που χρησιμοποιούνται από επαγγελματίες ερευνητές, ώστε οι συμμετέχουσες να αποκτήσουν μια πρώτη εμπειρία για το επάγγελμα αυτό καθώς και την αυτοπεποίθηση ότι και οι ίδιες ότι θα μπορούσαν να ανταπεξέλθουν. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε η γλώσσα Python και το προγραμματιστικό περιβάλλον του Jupyter Notebook. Οι μαθήτριες που επιλέχθηκαν να συμμετέχουν είχαν υψηλές επιδόσεις σε μαθήματα όπως τα μαθηματικά και οι επιστήμες, αλλά όχι απαραίτητα προηγούμενη επαφή με τον προγραμματισμό.

Τα αποτελέσματα της έρευνας των διοργανωτών έδειξαν ότι επιτεύχθηκαν οι στόχοι του προγράμματος. Δηλαδή διαμορφώθηκε στις συμμετέχουσες μια καλύτερη αντίληψη για το πως μπορούν οι τομείς της ΕΥ και της ΤΝ να έχουν αντίκτυπο στην επίλυση πραγματικών προβλημάτων, αλλά και ότι είναι απόλυτα ικανές να επιτύχουν σε αυτούς τους παραδοσιακά ανδροκρατούμενους τομείς. Συγκεκριμένα οι μέσες τιμές των απαντήσεων των μαθητριών πριν και μετά το πρόγραμμα έδειξαν αύξηση της αυτοπεποίθησής τους στην ΕΥ (θετική διαφορά +0.25) και στην ΤΝ (+0.33) καθώς και του ενδιαφέροντός τους να ακολουθήσουν καριέρα σχετική με την ΕΥ (+0.29) και την ΤΝ (+0.58). Επίσης αυξήθηκε η αλληλοϋποστήριξη μεταξύ τους (+0.84). Συμπερασματικά η επαφή με το περιβάλλον του Jupyter Notebook τους έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθούν έμπρακτα με έννοιες, σε συνθήκες που δουλεύουν οι ίδιοι οι ερευνητές και να αποκτήσουν τεχνικές γνώσεις με εφαρμογή σε θέματα που τους

ενδιαφέρουν, εμπνέοντας τους για μια πιθανή επιλογή καριέρας σε αυτό το επιστημονικό πεδίο.

Μία «κατασκήνωση κώδικα» για μαθητές γυμνασίου

Με αφορμή την έλλειψη εκπροσώπησης στην Επιστήμη των Υπολογιστών (ΕΥ) από ορισμένες κοινωνικές ομάδες όπως οι γυναίκες, οι έγχρωμοι φοιτητές και οι φοιτητές με χαμηλότερη κοινωνικοοικονομική θέση σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε δύο συνεχόμενες χρονιές (2017, 2018) από το Κολλέγιο Γκρίνελ, στην Άιοβα των ΗΠΑ, μία καλοκαιρινή «Κατασκήνωση κώδικα» για μαθητές γυμνασίου (38 και 25 συμμετέχοντες αντίστοιχα) που είχε διάρκεια μίας εβδομάδας (Bryant et al., 2019). Στόχος της διοργάνωσης ήταν να τονίσει σημαντικές χρήσεις της πληροφορικής και να καλλιεργήσει στους συμμετέχοντες την αυτοπεποίθηση και τα κίνητρα ώστε να κατανοήσουν ότι όλοι μπορούν να ασχοληθούν με την ΕΥ. Η προσπάθεια αυτή εστίασε στην «Επιστήμη των Δεδομένων για το Κοινωνικό Καλό», ώστε να ενθαρρύνει τους μαθητές να αντιληφθούν ότι η Επιστήμη των Δεδομένων και των Υπολογιστών μπορεί να έχει ένα θετικό αντίκτυπο στον κόσμο βοηθώντας στην αντιμετώπιση κοινωνικών προβλημάτων. Οι μαθητές λοιπόν, είχαν την ευκαιρία να αναπτύξουν οι ίδιοι αλγορίθμους, να ασχοληθούν με την εξερεύνηση και την απεικόνιση δεδομένων και να έρθουν σε επαφή με την συγκέντρωση και διαχείριση δεδομένων, ώστε να κατανοήσουν πώς μπορούν μέσω αυτής της διαδικασίας να δημιουργούν επιχειρήματα για ένα κοινωνικό θέμα και να τα χρησιμοποιούν για να ανοίγουν εποικοδομητικούς διαλόγους πάνω σε αυτό.

Το ένα από τα δύο προγραμματιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το Jupyter Notebook, το οποίο επιλέχθηκε με σκοπό να δώσει την ευκαιρία στους συμμετέχοντες να προγραμματίσουν σε ρεαλιστικές συνθήκες όπως οι επαγγελματίες προγραμματιστές σε γλώσσα Python. Να αναφερθεί εδώ ότι οι συμμετέχοντες είχαν μικρή ή καθόλου εμπειρία στον προγραμματισμό. Τα Jupyter Notebooks στα οποία εργάζονταν οι μαθητές περιείχαν οδηγίες, πόρους και κώδικα με συμπλήρωση κενών και πρόσφεραν στους μαθητές ένα χώρο για να εξασκήσουν διάφορες έννοιες σχετικές με την επιστήμη των δεδομένων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι από τα αποτελέσματα της διοργάνωσης του 2017 προέκυψε ότι οι συμμετέχοντες έδειξαν πολύ μεγαλύτερο ενθουσιασμό για το Jupyter Notebook σε σχέση με το άλλο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε γιατί, όπως είπαν, δουλεύοντας με αυτό είχαν την αίσθηση ότι προγραμματίζουν σε πραγματικές συνθήκες.

Τα συμπεράσματα από τα ερωτηματολόγια που συμπλήρωσαν οι συμμετέχοντες των δύο διοργανώσεων έδειξαν ότι εκπληρώθηκε ο βασικός σκοπός της διεξαγωγής τους, να βοηθήσουν δηλαδή τους συμμετέχοντες να πιστέψουν στις υπολογιστικές τους ικανότητες. Ακόμη στις απαντήσεις που έδωσαν οι συμμετέχοντες στα ερωτηματολόγια της 1ης και της 2ης χρονιάς παρατηρήθηκε θετική αύξηση της μέσης τιμής, ιδιαίτερα στις προτάσεις «Μοιάζω με επιστήμονας υπολογιστών» (+0.94) και «Γνωρίζω πολλά για την ΕΥ» (+1.2). Σχετικά με τη χρήση του Jupyter Notebook φάνηκε ότι παρόλο που πρόκειται για ένα επαγγελματικό προγραμματιστικό περιβάλλον που στην αρχή μπορεί να πτοεί τους λιγότερο έμπειρους χρήστες, εν τέλει η εξοικείωση με αυτό ενδυναμώνει και δημιουργεί στους νέους περισσότερη αυτοπεποίθηση για τις δεξιότητές τους.

Ένα θερινό πρόγραμμα επιστήμης των δεδομένων για μαθητές λυκείου

Το καλοκαίρι του 2018 υλοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο DePaul του Σικάγο ένα πρόγραμμα για μαθητές λυκείου, και ιδιαίτερα μαθητές από υποεκπροσωπούμενες ομάδες των δημόσιων σχολείων του Σικάγο, με στόχο να τους εισάγει στο ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο της Επιστήμης των Δεδομένων (ΕΔ) μέσω μιας σειράς πρακτικών δραστηριοτήτων (Mobasher et al., 2019). Αφορμή αποτέλεσε το γεγονός ότι παρόλο που τα τελευταία χρόνια

υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την υποστήριξη εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών στον τομέα της πληροφορικής για τους μαθητές της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, ελάχιστα από τα υπάρχοντα προγράμματα επικεντρώνονται στην ΕΔ, με αποτέλεσμα, οι μαθητές που την επιλέγουν ως σταδιοδρομία να είναι λίγοι σε σχέση με την αυξανόμενη ζήτηση για επαγγελματίες στον τομέα αυτό. Το πρόγραμμα επιδίωξε να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν την αυτοπεποίθηση για τις δεξιότητές τους στην επίλυση προβλημάτων μέσω της ΕΔ και να δείξει τη δύναμη των υπολογιστικών εργαλείων για την εξαγωγή πληροφοριών από δεδομένα. Επιπλέον τους ενθάρρυνε να είναι ενημερωμένοι και κριτικοί αναγνώστες των ποσοτικών επιχειρημάτων που συναντούν γύρω τους στις ειδήσεις, στις εφημερίδες και στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης.

Οι μαθητές εκτέθηκαν σε διάφορα εργαλεία που συχνά χρησιμοποιούνται για την εξερεύνηση και ανάλυση των δεδομένων, ανάμεσα τους και το Jupyter Notebook. Στόχος ήταν όχι τόσο να αποκτήσουν δεξιότητες προγραμματισμού, όσο να εξοικειωθούν με τα διαφορετικά εργαλεία. Ο αριθμός των συμμετεχόντων ήταν 15 και οι ηλικίες τους 16-17 ετών, ενώ μία από τις προϋποθέσεις για τη συμμετοχή τους ήταν να έχουν ολοκληρώσει το μάθημα της Επιστήμης των Υπολογιστών, καθώς και το μάθημα της Γεωμετρίας ή/και της Άλγεβρας. Συνολικά η διοργάνωση πέτυχε τους στόχους της που ήταν να εκθέσει τους μαθητές σε έννοιες σχετικές με την ΕΔ και να προκαλέσει τον ενδιαφέρον τους σε μια πιθανή επιλογή σταδιοδρομίας. Χαρακτηριστικά, στην αρχή του προγράμματος μόνο το 34.6% των μαθητών δήλωσαν ότι γνώριζαν τι είναι η ΕΔ, ενώ μέχρι το τέλος του όλοι ένιωσαν ότι απέκτησαν μια καλή εικόνα για τον κλάδο αυτό. Μάλιστα το ενδιαφέρον τους να ακολουθήσουν μια καριέρα σχετική με την ΕΔ αυξήθηκε από το 65.4% των μαθητών σε 91.7%. Δεν ζητήθηκε να αξιολογηθούν ξεχωριστά τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος, επομένως δεν υπήρχαν συγκεκριμένα σχόλια αναφορικά με το Jupyter Notebook, ωστόσο φάνηκε ότι το κομμάτι της απεικόνισης των δεδομένων (data visualizations), το οποίο υποστηρίζεται εξαιρετικά από τα Jupyter Notebooks, ήταν ένα από τα αγαπημένα θέματα των συμμετεχόντων. Μάλιστα ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 80% δήλωσε ότι έμαθαν πως να χρησιμοποιήσουν την απεικόνιση δεδομένων για να «διηγηθούν μία ιστορία».

Εφαρμογή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ροή Φορτίου)

Αναντίρρητα, τα Jupyter Notebooks αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στην πανεπιστημιακή εκπαίδευση και ιδιαίτερα στους κλάδους των μηχανικών, καθώς επιτρέπουν τη σύνδεση των φυσικών και μαθηματικών εννοιών με πρακτικές εφαρμογές και τη συσχέτισή τους με τον πραγματικό κόσμο. Είναι επίσης ιδανικό για τον σχεδιασμό εκπαιδευτικών σεναρίων, καθώς μπορεί να συνεισφέρει στην εξερεύνηση καινοτόμων προσεγγίσεων και να βελτιώσει τις εκπαιδευτικές δραστηριότητες (Cardoso et al., 2019a; 2019b; Lovejoy & Wickert, 2015; Perkel, 2018; Suárez et al., 2018).

Σε ότι αφορά τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ), η αυξανόμενη ενσωμάτωση σε αυτό των ΤΠΕ υπαγορεύει την αναγκαιότητα ευρείας κατανόηση των θεμάτων αυτών από τους σημερινούς και μελλοντικούς ερευνητές και μηχανικούς. Ως εκ τούτου, τα εργαστηριακά μαθήματα πρέπει να σχεδιάζονται και να εφαρμόζονται σε αποτελεσματικά και ευέλικτα εργαστηριακά περιβάλλοντα (Kotsamprosoulos et al., 2017).

Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκε εφαρμογή του Jupyter Notebook για τον σχεδιασμό διαδραστικού εκπαιδευτικού υλικού του εργαστηρίου μαθήματος που αφορά την ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ που απευθύνεται σε προπτυχιακούς φοιτητές (Παπαδιάς, 1985). Στόχος του συγκεκριμένου εργαστηρίου είναι η μελέτη προβλημάτων που σχετίζονται με τη

ροή φορτίου/ισχύος στα ΣΗΕ, όπου με δεδομένη την τοπολογία του συστήματος (δικτύου) και την ισχύ κάθε μονάδας υπολογίζονται σημαντικά ηλεκτρικά μεγέθη (π.χ. τάσεις, ρεύματα). Η μελέτη της ανάλυσης της ροής φορτίου σε ένα ΣΗΕ έχει καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση και το σχεδιασμό του, καθώς διασφαλίζει την παραμονή του εντός ορίων λειτουργίας όταν συμβαίνουν σε αυτό αλλαγές. Επομένως η σωστή κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος, μέσω των προσομοιώσεων είναι πολύ σημαντική για τους μελλοντικούς μηχανικούς. Οι υπολογισμοί της ροής φορτίου περιλαμβάνουν τη λύση ενός μεγάλου αριθμού πολύπλοκων εξισώσεων, με τη βοήθεια επαναληπτικών μεθόδων και πραγματοποιούνται σε Matlab, μια γλώσσα προγραμματισμού ιδιαίτερα διαδεδομένη στους μηχανικούς. Εώς σήμερα το εργαστήριο αυτό πραγματοποιείται με χρήση του εργαλείου Matlab, χωρίς ωστόσο να δίνεται στους φοιτητές ο κώδικας των επαναληπτικών μεθόδων, λόγω του μεγέθους, της πολυπλοκότητάς του και της δυσκολίας να επεξηγηθεί κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου.

1η Εργαστηριακή Άσκηση

Για το Σημάτιο (Κατεύθυνση, Εντάσεις (P-V)) του παρακάτω σχήματος θέλουμε να παρακάτω μετρήσει:

- Σταθμενική απόσταση των γραμμών μεταφοράς.
- Ροή φορτίου.

A: Άκρο $V_A = 1.0$ p.u., B: Πλάτος $P_B = 3.0$ p.u., Τάση $V_B = 1.0$ p.u., C: Φορτίο $P_C = 0.5$ p.u., $Q_C = 0.55$ p.u., D: Φορτίο $P_D = 0.4$ p.u., $Q_D = 0.7$ p.u.

Σχηματισμός της μήτρας αγωγιμότητας

Το παρακάτω κώδικα είναι έτοιμο για να γίνει εκτελεστέο. Αρκεί να στείλουμε το δόκιμο από τον πίνακα `busdata` 4 στήλες από 1 ως 2 (Φορτίο ή αντιστάση που υπάρχουν μεταξύ των όρων και οι στήλες 3 και 4 χρησιμοποιούνται για την αγωγή των δόκιμων των όρων (συνήθως 1 και αντιστάση A))

Για το DED του παρακάτω σχήματος, η μήτρα αγωγιμότητας είναι:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix}$$

```
In [11]: %
busdata = [Line number, n1, n2, R, X, B, G, C, P, Q]
% Bus 1
% Bus 2
% Bus 3
% Bus 4
% Bus 5
% Bus 6
% Bus 7
% Bus 8
% Bus 9
% Bus 10
% Bus 11
% Bus 12
% Bus 13
% Bus 14
% Bus 15
% Bus 16
% Bus 17
% Bus 18
% Bus 19
% Bus 20
% Bus 21
% Bus 22
% Bus 23
% Bus 24
% Bus 25
% Bus 26
% Bus 27
% Bus 28
% Bus 29
% Bus 30
% Bus 31
% Bus 32
% Bus 33
% Bus 34
% Bus 35
% Bus 36
% Bus 37
% Bus 38
% Bus 39
% Bus 40
% Bus 41
% Bus 42
% Bus 43
% Bus 44
% Bus 45
% Bus 46
% Bus 47
% Bus 48
% Bus 49
% Bus 50
% Bus 51
% Bus 52
% Bus 53
% Bus 54
% Bus 55
% Bus 56
% Bus 57
% Bus 58
% Bus 59
% Bus 60
% Bus 61
% Bus 62
% Bus 63
% Bus 64
% Bus 65
% Bus 66
% Bus 67
% Bus 68
% Bus 69
% Bus 70
% Bus 71
% Bus 72
% Bus 73
% Bus 74
% Bus 75
% Bus 76
% Bus 77
% Bus 78
% Bus 79
% Bus 80
% Bus 81
% Bus 82
% Bus 83
% Bus 84
% Bus 85
% Bus 86
% Bus 87
% Bus 88
% Bus 89
% Bus 90
% Bus 91
% Bus 92
% Bus 93
% Bus 94
% Bus 95
% Bus 96
% Bus 97
% Bus 98
% Bus 99
% Bus 100
% Bus 101
% Bus 102
% Bus 103
% Bus 104
% Bus 105
% Bus 106
% Bus 107
% Bus 108
% Bus 109
% Bus 110
% Bus 111
% Bus 112
% Bus 113
% Bus 114
% Bus 115
% Bus 116
% Bus 117
% Bus 118
% Bus 119
% Bus 120
% Bus 121
% Bus 122
% Bus 123
% Bus 124
% Bus 125
% Bus 126
% Bus 127
% Bus 128
% Bus 129
% Bus 130
% Bus 131
% Bus 132
% Bus 133
% Bus 134
% Bus 135
% Bus 136
% Bus 137
% Bus 138
% Bus 139
% Bus 140
% Bus 141
% Bus 142
% Bus 143
% Bus 144
% Bus 145
% Bus 146
% Bus 147
% Bus 148
% Bus 149
% Bus 150
% Bus 151
% Bus 152
% Bus 153
% Bus 154
% Bus 155
% Bus 156
% Bus 157
% Bus 158
% Bus 159
% Bus 160
% Bus 161
% Bus 162
% Bus 163
% Bus 164
% Bus 165
% Bus 166
% Bus 167
% Bus 168
% Bus 169
% Bus 170
% Bus 171
% Bus 172
% Bus 173
% Bus 174
% Bus 175
% Bus 176
% Bus 177
% Bus 178
% Bus 179
% Bus 180
% Bus 181
% Bus 182
% Bus 183
% Bus 184
% Bus 185
% Bus 186
% Bus 187
% Bus 188
% Bus 189
% Bus 190
% Bus 191
% Bus 192
% Bus 193
% Bus 194
% Bus 195
% Bus 196
% Bus 197
% Bus 198
% Bus 199
% Bus 200
% Bus 201
% Bus 202
% Bus 203
% Bus 204
% Bus 205
% Bus 206
% Bus 207
% Bus 208
% Bus 209
% Bus 210
% Bus 211
% Bus 212
% Bus 213
% Bus 214
% Bus 215
% Bus 216
% Bus 217
% Bus 218
% Bus 219
% Bus 220
% Bus 221
% Bus 222
% Bus 223
% Bus 224
% Bus 225
% Bus 226
% Bus 227
% Bus 228
% Bus 229
% Bus 230
% Bus 231
% Bus 232
% Bus 233
% Bus 234
% Bus 235
% Bus 236
% Bus 237
% Bus 238
% Bus 239
% Bus 240
% Bus 241
% Bus 242
% Bus 243
% Bus 244
% Bus 245
% Bus 246
% Bus 247
% Bus 248
% Bus 249
% Bus 250
% Bus 251
% Bus 252
% Bus 253
% Bus 254
% Bus 255
% Bus 256
% Bus 257
% Bus 258
% Bus 259
% Bus 260
% Bus 261
% Bus 262
% Bus 263
% Bus 264
% Bus 265
% Bus 266
% Bus 267
% Bus 268
% Bus 269
% Bus 270
% Bus 271
% Bus 272
% Bus 273
% Bus 274
% Bus 275
% Bus 276
% Bus 277
% Bus 278
% Bus 279
% Bus 280
% Bus 281
% Bus 282
% Bus 283
% Bus 284
% Bus 285
% Bus 286
% Bus 287
% Bus 288
% Bus 289
% Bus 290
% Bus 291
% Bus 292
% Bus 293
% Bus 294
% Bus 295
% Bus 296
% Bus 297
% Bus 298
% Bus 299
% Bus 300
% Bus 301
% Bus 302
% Bus 303
% Bus 304
% Bus 305
% Bus 306
% Bus 307
% Bus 308
% Bus 309
% Bus 310
% Bus 311
% Bus 312
% Bus 313
% Bus 314
% Bus 315
% Bus 316
% Bus 317
% Bus 318
% Bus 319
% Bus 320
% Bus 321
% Bus 322
% Bus 323
% Bus 324
% Bus 325
% Bus 326
% Bus 327
% Bus 328
% Bus 329
% Bus 330
% Bus 331
% Bus 332
% Bus 333
% Bus 334
% Bus 335
% Bus 336
% Bus 337
% Bus 338
% Bus 339
% Bus 340
% Bus 341
% Bus 342
% Bus 343
% Bus 344
% Bus 345
% Bus 346
% Bus 347
% Bus 348
% Bus 349
% Bus 350
% Bus 351
% Bus 352
% Bus 353
% Bus 354
% Bus 355
% Bus 356
% Bus 357
% Bus 358
% Bus 359
% Bus 360
% Bus 361
% Bus 362
% Bus 363
% Bus 364
% Bus 365
% Bus 366
% Bus 367
% Bus 368
% Bus 369
% Bus 370
% Bus 371
% Bus 372
% Bus 373
% Bus 374
% Bus 375
% Bus 376
% Bus 377
% Bus 378
% Bus 379
% Bus 380
% Bus 381
% Bus 382
% Bus 383
% Bus 384
% Bus 385
% Bus 386
% Bus 387
% Bus 388
% Bus 389
% Bus 390
% Bus 391
% Bus 392
% Bus 393
% Bus 394
% Bus 395
% Bus 396
% Bus 397
% Bus 398
% Bus 399
% Bus 400
% Bus 401
% Bus 402
% Bus 403
% Bus 404
% Bus 405
% Bus 406
% Bus 407
% Bus 408
% Bus 409
% Bus 410
% Bus 411
% Bus 412
% Bus 413
% Bus 414
% Bus 415
% Bus 416
% Bus 417
% Bus 418
% Bus 419
% Bus 420
% Bus 421
% Bus 422
% Bus 423
% Bus 424
% Bus 425
% Bus 426
% Bus 427
% Bus 428
% Bus 429
% Bus 430
% Bus 431
% Bus 432
% Bus 433
% Bus 434
% Bus 435
% Bus 436
% Bus 437
% Bus 438
% Bus 439
% Bus 440
% Bus 441
% Bus 442
% Bus 443
% Bus 444
% Bus 445
% Bus 446
% Bus 447
% Bus 448
% Bus 449
% Bus 450
% Bus 451
% Bus 452
% Bus 453
% Bus 454
% Bus 455
% Bus 456
% Bus 457
% Bus 458
% Bus 459
% Bus 460
% Bus 461
% Bus 462
% Bus 463
% Bus 464
% Bus 465
% Bus 466
% Bus 467
% Bus 468
% Bus 469
% Bus 470
% Bus 471
% Bus 472
% Bus 473
% Bus 474
% Bus 475
% Bus 476
% Bus 477
% Bus 478
% Bus 479
% Bus 480
% Bus 481
% Bus 482
% Bus 483
% Bus 484
% Bus 485
% Bus 486
% Bus 487
% Bus 488
% Bus 489
% Bus 490
% Bus 491
% Bus 492
% Bus 493
% Bus 494
% Bus 495
% Bus 496
% Bus 497
% Bus 498
% Bus 499
% Bus 500
% Bus 501
% Bus 502
% Bus 503
% Bus 504
% Bus 505
% Bus 506
% Bus 507
% Bus 508
% Bus 509
% Bus 510
% Bus 511
% Bus 512
% Bus 513
% Bus 514
% Bus 515
% Bus 516
% Bus 517
% Bus 518
% Bus 519
% Bus 520
% Bus 521
% Bus 522
% Bus 523
% Bus 524
% Bus 525
% Bus 526
% Bus 527
% Bus 528
% Bus 529
% Bus 530
% Bus 531
% Bus 532
% Bus 533
% Bus 534
% Bus 535
% Bus 536
% Bus 537
% Bus 538
% Bus 539
% Bus 540
% Bus 541
% Bus 542
% Bus 543
% Bus 544
% Bus 545
% Bus 546
% Bus 547
% Bus 548
% Bus 549
% Bus 550
% Bus 551
% Bus 552
% Bus 553
% Bus 554
% Bus 555
% Bus 556
% Bus 557
% Bus 558
% Bus 559
% Bus 560
% Bus 561
% Bus 562
% Bus 563
% Bus 564
% Bus 565
% Bus 566
% Bus 567
% Bus 568
% Bus 569
% Bus 570
% Bus 571
% Bus 572
% Bus 573
% Bus 574
% Bus 575
% Bus 576
% Bus 577
% Bus 578
% Bus 579
% Bus 580
% Bus 581
% Bus 582
% Bus 583
% Bus 584
% Bus 585
% Bus 586
% Bus 587
% Bus 588
% Bus 589
% Bus 590
% Bus 591
% Bus 592
% Bus 593
% Bus 594
% Bus 595
% Bus 596
% Bus 597
% Bus 598
% Bus 599
% Bus 600
% Bus 601
% Bus 602
% Bus 603
% Bus 604
% Bus 605
% Bus 606
% Bus 607
% Bus 608
% Bus 609
% Bus 610
% Bus 611
% Bus 612
% Bus 613
% Bus 614
% Bus 615
% Bus 616
% Bus 617
% Bus 618
% Bus 619
% Bus 620
% Bus 621
% Bus 622
% Bus 623
% Bus 624
% Bus 625
% Bus 626
% Bus 627
% Bus 628
% Bus 629
% Bus 630
% Bus 631
% Bus 632
% Bus 633
% Bus 634
% Bus 635
% Bus 636
% Bus 637
% Bus 638
% Bus 639
% Bus 640
% Bus 641
% Bus 642
% Bus 643
% Bus 644
% Bus 645
% Bus 646
% Bus 647
% Bus 648
% Bus 649
% Bus 650
% Bus 651
% Bus 652
% Bus 653
% Bus 654
% Bus 655
% Bus 656
% Bus 657
% Bus 658
% Bus 659
% Bus 660
% Bus 661
% Bus 662
% Bus 663
% Bus 664
% Bus 665
% Bus 666
% Bus 667
% Bus 668
% Bus 669
% Bus 670
% Bus 671
% Bus 672
% Bus 673
% Bus 674
% Bus 675
% Bus 676
% Bus 677
% Bus 678
% Bus 679
% Bus 680
% Bus 681
% Bus 682
% Bus 683
% Bus 684
% Bus 685
% Bus 686
% Bus 687
% Bus 688
% Bus 689
% Bus 690
% Bus 691
% Bus 692
% Bus 693
% Bus 694
% Bus 695
% Bus 696
% Bus 697
% Bus 698
% Bus 699
% Bus 700
% Bus 701
% Bus 702
% Bus 703
% Bus 704
% Bus 705
% Bus 706
% Bus 707
% Bus 708
% Bus 709
% Bus 710
% Bus 711
% Bus 712
% Bus 713
% Bus 714
% Bus 715
% Bus 716
% Bus 717
% Bus 718
% Bus 719
% Bus 720
% Bus 721
% Bus 722
% Bus 723
% Bus 724
% Bus 725
% Bus 726
% Bus 727
% Bus 728
% Bus 729
% Bus 730
% Bus 731
% Bus 732
% Bus 733
% Bus 734
% Bus 735
% Bus 736
% Bus 737
% Bus 738
% Bus 739
% Bus 740
% Bus 741
% Bus 742
% Bus 743
% Bus 744
% Bus 745
% Bus 746
% Bus 747
% Bus 748
% Bus 749
% Bus 750
% Bus 751
% Bus 752
% Bus 753
% Bus 754
% Bus 755
% Bus 756
% Bus 757
% Bus 758
% Bus 759
% Bus 760
% Bus 761
% Bus 762
% Bus 763
% Bus 764
% Bus 765
% Bus 766
% Bus 767
% Bus 768
% Bus 769
% Bus 770
% Bus 771
% Bus 772
% Bus 773
% Bus 774
% Bus 775
% Bus 776
% Bus 777
% Bus 778
% Bus 779
% Bus 780
% Bus 781
% Bus 782
% Bus 783
% Bus 784
% Bus 785
% Bus 786
% Bus 787
% Bus 788
% Bus 789
% Bus 790
% Bus 791
% Bus 792
% Bus 793
% Bus 794
% Bus 795
% Bus 796
% Bus 797
% Bus 798
% Bus 799
% Bus 800
% Bus 801
% Bus 802
% Bus 803
% Bus 804
% Bus 805
% Bus 806
% Bus 807
% Bus 808
% Bus 809
% Bus 810
% Bus 811
% Bus 812
% Bus 813
% Bus 814
% Bus 815
% Bus 816
% Bus 817
% Bus 818
% Bus 819
% Bus 820
% Bus 821
% Bus 822
% Bus 823
% Bus 824
% Bus 825
% Bus 826
% Bus 827
% Bus 828
% Bus 829
% Bus 830
% Bus 831
% Bus 832
% Bus 833
% Bus 834
% Bus 835
% Bus 836
% Bus 837
% Bus 838
% Bus 839
% Bus 840
% Bus 841
% Bus 842
% Bus 843
% Bus 844
% Bus 845
% Bus 846
% Bus 847
% Bus 848
% Bus 849
% Bus 850
% Bus 851
% Bus 852
% Bus 853
% Bus 854
% Bus 855
% Bus 856
% Bus 857
% Bus 858
% Bus 859
% Bus 860
% Bus 861
% Bus 862
% Bus 863
% Bus 864
% Bus 865
% Bus 866
% Bus 867
% Bus 868
% Bus 869
% Bus 870
% Bus 871
% Bus 872
% Bus 873
% Bus 874
% Bus 875
% Bus 876
% Bus 877
% Bus 878
% Bus 879
% Bus 880
% Bus 881
% Bus 882
% Bus 883
% Bus 884
% Bus 885
% Bus 886
% Bus 887
% Bus 888
% Bus 889
% Bus 890
% Bus 891
% Bus 892
% Bus 893
% Bus 894
% Bus 895
% Bus 896
% Bus 897
% Bus 898
% Bus 899
% Bus 900
% Bus 901
% Bus 902
% Bus 903
% Bus 904
% Bus 905
% Bus 906
% Bus 907
% Bus 908
% Bus 909
% Bus 910
% Bus 911
% Bus 912
% Bus 913
% Bus 914
% Bus 915
% Bus 916
% Bus 917
% Bus 918
% Bus 919
% Bus 920
% Bus 921
% Bus 922
% Bus 923
% Bus 924
% Bus 925
% Bus 926
% Bus 927
% Bus 928
% Bus 929
% Bus 930
% Bus 931
% Bus 932
% Bus 933
% Bus 934
% Bus 935
% Bus 936
% Bus 937
% Bus 938
% Bus 939
% Bus 940
% Bus 941
% Bus 942
% Bus 943
% Bus 944
% Bus 945
% Bus 946
% Bus 947
% Bus 948
% Bus 949
% Bus 950
% Bus 951
% Bus 952
% Bus 953
% Bus 954
% Bus 955
% Bus 956
% Bus 957
% Bus 958
% Bus 959
% Bus 960
% Bus 961
% Bus 962
% Bus 963
% Bus 964
% Bus 965
% Bus 966
% Bus 967
% Bus 968
% Bus 969
% Bus 970
% Bus 971
% Bus 972
% Bus 973
% Bus 974
% Bus 975
% Bus 976
% Bus 977
% Bus 978
% Bus 979
% Bus 980
% Bus 981
% Bus 982
% Bus 983
% Bus 984
% Bus 985
% Bus 986
% Bus 987
% Bus 988
% Bus 989
% Bus 990
% Bus 991
% Bus 992
% Bus 993
% Bus 994
% Bus 995
% Bus 996
% Bus 997
% Bus 998
% Bus 999
% Bus 1000
% Bus 1001
% Bus 1002
% Bus 1003
% Bus 1004
% Bus 1005
% Bus 1006
% Bus 1007
% Bus 1008
% Bus 1009
% Bus 1010
% Bus 1011
% Bus 1012
% Bus 1013
% Bus 1014
% Bus 1015
% Bus 1016
% Bus 1017
% Bus 1018
% Bus 1019
% Bus 1020
% Bus 1021
% Bus 1022
% Bus 1023
% Bus 1024
% Bus 1025
% Bus 1026
% Bus 1027
% Bus 1028
% Bus 1029
% Bus 1030
% Bus 1031
% Bus 1032
% Bus 1033
% Bus 1034
% Bus 1035
% Bus 1036
% Bus 1037
% Bus 1038
% Bus 1039
% Bus 1040
% Bus 1041
% Bus 1042
% Bus 1043
% Bus 1044
% Bus 1045
% Bus 1046
% Bus 1047
% Bus 1048
% Bus 1049
% Bus 1050
% Bus 1051
% Bus 1052
% Bus 1053
% Bus 1054
% Bus 1055
% Bus 1056
% Bus 1057
% Bus 1058
% Bus 1059
% Bus 1060
% Bus 1061
% Bus 1062
% Bus 1063
% Bus 1064
% Bus 1065
% Bus 1066
% Bus 1067
% Bus 1068
% Bus 1069
% Bus 1070
% Bus 1071
% Bus 1072
% Bus 1073
% Bus 1074
% Bus 1075
% Bus 1076
% Bus 1077
% Bus 1078
% Bus 1079
% Bus 1080
% Bus 1081
% Bus 1082
% Bus 1083
% Bus 1084
% Bus 1085
% Bus 1086
% Bus 1087
% Bus 1088
% Bus 1089
% Bus 1090
% Bus 1091
% Bus 1092
% Bus 1093
% Bus 1094
% Bus 1095
% Bus 1096
% Bus 1097
% Bus 1098
% Bus 1099
% Bus 1100
% Bus 1101
% Bus 1102
% Bus 1103
% Bus 1104
% Bus 1105
% Bus 1106
% Bus 1107
% Bus 1108
% Bus 1109
% Bus 1110
% Bus 1111
% Bus 1112
% Bus 1113
% Bus 1114
% Bus 1115
% Bus 1116
% Bus 1117
% Bus 1118
% Bus 1119
% Bus 1120
% Bus 1121
% Bus 1122
% Bus 1123
% Bus 1124
% Bus 1125
% Bus 1126
% Bus 1127
% Bus 1128
% Bus 1129
% Bus 1130
% Bus 1131
% Bus 1132
% Bus 1133
% Bus 1134
% Bus 1135
% Bus 1136
% Bus 1137
% Bus 1138
% Bus 1139
% Bus 1140
% Bus 1141
% Bus 1142
% Bus 1143
% Bus 1144
% Bus 1145
% Bus 1146
% Bus 1147
% Bus 1148
% Bus 1149
% Bus 1150
% Bus 1151
% Bus 1152
% Bus 1153
% Bus 1154
% Bus 1155
% Bus 1156
% Bus 1157
% Bus 1158
% Bus 1159
% Bus 1160
% Bus 1161
% Bus 1162
% Bus 1163
% Bus 1164
% Bus 1165
% Bus 1166
% Bus 1167
% Bus 1168
% Bus 1169
% Bus 1170
% Bus 1171
% Bus 1172
% Bus 1173
% Bus 1174
% Bus 1175
% Bus 1176
% Bus 1177
% Bus 1178
% Bus 1179
% Bus 1180
% Bus 1181
% Bus 1182
% Bus 1183
% Bus 1184
% Bus 1185
% Bus 1186
% Bus 1187
% Bus 1188
% Bus 1189
% Bus 1190
% Bus 1191
% Bus 1192
% Bus 1193
% Bus 1194
% Bus 1195
% Bus 1196
% Bus 1197
% Bus 1198
% Bus 1199
% Bus 1200
% Bus 1201
% Bus 1202
% Bus 1203
% Bus 1204
% Bus 1205
% Bus 1206
% Bus 1207
% Bus 1208
% Bus 1209
% Bus 1210
% Bus 1211
% Bus 1212
% Bus 1213
% Bus 1214
% Bus 1215
% Bus 1216
% Bus 1217
% Bus 1218
% Bus 1219
% Bus 1220
% Bus 1221
% Bus 1222
% Bus 1223
% Bus 1224
% Bus 1225
% Bus 1226
% Bus 1227
% Bus 1228
% Bus 1229
% Bus 1230
% Bus 1231
% Bus 1232
% Bus 1233
% Bus 1234
% Bus 1235
% Bus 1236
% Bus 1237
% Bus 1238
% Bus 1239
% Bus 1240
% Bus 1241
% Bus 1242
% Bus 1243
% Bus 1244
% Bus 1245
% Bus 1246
% Bus 1247
% Bus 1248
% Bus 1249
% Bus 1250
% Bus 1251
% Bus 1252
% Bus 1253
% Bus 1254
% Bus 1255
% Bus 1256
% Bus 1257
% Bus 1258
% Bus 1259
% Bus 1260
% Bus 1261
% Bus 1262
% Bus 1263
% Bus 1264
% Bus 1265
% Bus 1266
% Bus 1267
% Bus 1268
% Bus 1269
% Bus 1270
% Bus 1271
% Bus 1272
% Bus 1273
% Bus 1274
% Bus 1275
% Bus 1276
% Bus 1277
% Bus 1278
% Bus 1279
% Bus 1280
% Bus 1281
% Bus 1282
% Bus 1283
% Bus 1284
% Bus 1285
% Bus 1286
% Bus 1287
% Bus 1288
% Bus 1289
% Bus 1290
% Bus 1291
% Bus 1292
% Bus 1293
% Bus 1294
% Bus 1295
% Bus 1296
% Bus 1297
% Bus 1298
% Bus 1299
% Bus 1300
% Bus 1301
% Bus 1302
% Bus 1303
% Bus 1304
% Bus 1305
% Bus 1306
% Bus 1307
% Bus 1308
% Bus 1309
% Bus 1310
% Bus 1311
% Bus 1312
% Bus 1313
% Bus 1314
% Bus 1315
% Bus 1316
% Bus 1317
% Bus 1318
% Bus 1319
% Bus 1320
% Bus 1321
% Bus 1322
% Bus 1323
% Bus 1324
% Bus 1325
% Bus 1326
% Bus 1327
% Bus 1328
% Bus 1329
% Bus 1330
% Bus 1331
% Bus 1332
% Bus 1333
% Bus 1334
% Bus 1335
% Bus 1336
% Bus 1337
% Bus 1338
% Bus 1339
% Bus 1340
% Bus 1341
% Bus 1342
% Bus 1343
% Bus 1344
% Bus 1345
% Bus 1346
% Bus 1347
% Bus 1348
% Bus 1349
% Bus 1350
% Bus 1351
% Bus 1352
% Bus 1353
% Bus 1354
% Bus 1355
% Bus 1356
% Bus 1357
% Bus 1358
% Bus 1359
% Bus 1360
% Bus 1361
% Bus 1362
% Bus 1363
% Bus 1364
% Bus 1365
% Bus 1366
% Bus 1367
% Bus 1368
% Bus 1369
% Bus 1370
% Bus 1371
% Bus 1372
% Bus 1373
% Bus 1374
% Bus 1375
% Bus 1376
% Bus 1377
% Bus 1378
% Bus 1379
% Bus 1380
% Bus 1381
% Bus 1382
% Bus 1383
% Bus 1384
% Bus 1385
% Bus 1386
% Bus 1387
% Bus 1388
% Bus 1389
% Bus 1390
% Bus 1391
% Bus 1392
% Bus 1393
% Bus 1394
% Bus 1395
% Bus 1396
% Bus 1397
% Bus 1398
% Bus 1399
% Bus 1400
% Bus 1401
% Bus 1402
% Bus 1403
% Bus 1404
% Bus 1405
% Bus 1406
% Bus 1407
% Bus 1408
% Bus 1409
% Bus 1410
% Bus 1411
% Bus 1412
% Bus 1413
% Bus 1414
% Bus 1415
% Bus 1416
% Bus 1417
% Bus 1418
% Bus 1419
% Bus 1420
% Bus 1421
% Bus 1422
% Bus 1423
% Bus 1424
% Bus 1425
% Bus 1426
% Bus 1427
% Bus 1428
% Bus 1429
% Bus 1430
% Bus 1431
% Bus 1432
% Bus 1433
% Bus 1434
% Bus 1435
% Bus 1436
% Bus 1437
% Bus 1438
% Bus 1439
% Bus 1440
% Bus 1441
% Bus 1442
% Bus 1443
% Bus 1444
% Bus 1445
% Bus 1446
% Bus 1447
% Bus 1448
% Bus 1449
% Bus 1450
% Bus 1451
% Bus 1452
% Bus 1453
% Bus 1454
% Bus 1455
% Bus 1456
% Bus 1457
% Bus 1458
% Bus 1459
% Bus 1460
% Bus 1461
% Bus 1462
% Bus 1463
% Bus 1464
% Bus 1465
% Bus 1466
% Bus 1467
% Bus 1468
% Bus 1469
% Bus 1470
% Bus 1471
% Bus 1472
% Bus 1473
% Bus 1474
% Bus 1475
% Bus 1476
% Bus 1477
% Bus 1478
% Bus 1479
% Bus 1480
% Bus 1481
% Bus 1482
% Bus 1483
% Bus 1484
% Bus 1485
% Bus 1486
% Bus 1487
% Bus 1488
% Bus 1489
% Bus 1490
% Bus 1491
% Bus 1492
% Bus 1493
% Bus 1494
% Bus 1495
% Bus 1496
% Bus 1497
% Bus 1498
% Bus 1499
% Bus 1500
% Bus 1501
% Bus 1502
% Bus 1503
% Bus 1504
% Bus 1505
% Bus 1506
% Bus 1507
% Bus 1508
% Bus 1509
% Bus 1510
% Bus 1511
% Bus 1512
% Bus 1513
% Bus 1514
% Bus 1515
% Bus 1516
% Bus 1517
% Bus 1518
% Bus 1519
% Bus 1520
% Bus 1521
% Bus 1522
% Bus 1523
% Bus 1524
% Bus 1525
% Bus 1526
% Bus 1527
% Bus 1528
% Bus 1529
% Bus 1530
% Bus 1531
% Bus 1532
% Bus 1533
% Bus 1534
% Bus 1535
%
```

Συμπεράσματα

Οι κοινωνικές και τεχνολογικές εξελίξεις επιτάσσουν την αναβάθμιση της εκπαιδευτικής διαδικασίας με νέες πρακτικές/εργαλεία, ώστε οι μαθητές να αποκτήσουν μια πολύπλευρη εκπαίδευση που ενισχύει την κριτική σκέψη, προσφέρει κίνητρα για μάθηση και στοχεύει στην καλλιέργεια των δεξιοτήτων της ευελιξίας και της προσαρμοστικότητας στα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα της εποχής μας. Στο πλαίσιο αυτό, έγινε σύντομη ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας για το εργαλείο Jupyter Notebook, αποτελώντας την πρώτη αναφορά του συγκεκριμένου εργαλείου στην ελληνική βιβλιογραφία αναφορικά με τη χρήση του στην εκπαίδευση. Το Jupyter Notebook αποτελεί ένα μέσο για την ανάπτυξη καινοτόμων εκπαιδευτικών εμπειριών που δίνουν μια πιο σφαιρική εικόνα του αντικειμένου που εξετάζουν, ενθαρρύνουν την ενεργό μάθηση, διευρύνουν τις δυνατότητες των μαθητών για πειραματισμό και προσφέρουν πολλά ερεθίσματα που εμψυχούν το ενδιαφέρον για τη μάθηση. Παράλληλα ωφελούν σημαντικά την κατανόηση, τη συμμετοχή και τις επιδόσεις των μαθητών. Από τις παραπάνω εκπαιδευτικές προτάσεις και τις εφαρμογές που μελετήθηκαν σε μαθητές σχολείου φαίνεται ότι, με την κατάλληλη καθοδήγηση, οι μαθητές είναι απόλυτα ικανοί να αλληλεπιδράσουν με ένα εκπαιδευτικό περιβάλλον που θεωρείται πιο δύσκολο, και μάλιστα να ασχοληθούν με απαιτητικές έννοιες. Άλλωστε, σταδιακά προβλέπεται να δημιουργηθεί η ανάγκη εισαγωγής τέτοιων εργαλείων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση ώστε να υποστηριχθούν νέα μαθήματα όπως η Επιστήμη των Δεδομένων. Απ' όλα τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι αποτελεί ένα εργαλείο που μπορεί να συνεισφέρει στη βελτίωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας στο σχολείο, αλλά και στο πανεπιστήμιο. Το πλήθος των εφαρμογών που είναι διαθέσιμες και ανοικτές στο διαδίκτυο (π.χ. στο GitHub) και οι θετικές αντιδράσεις μαθητών και εκπαιδευτικών είναι ενθαρρυντικά στοιχεία για τη συνέχεια.

Αναφορές

- Aoun, J. E. (2017). *Robot-proof: higher education in the age of artificial intelligence*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Barba, L., & Forsyth, G. (2018). CFD Python: The 12 steps to Navier-Stokes equations. *Journal of Open Source Education*, 1(9), 21–23.
- Barba, L., & Mesnard, O. (2019). Aero Python: classical aerodynamics of potential flow using Python. *Journal of Open Source Education*, 2(15), 45–47.
- Biehler, R., Budde, L., Frischmeier, D., Heinemann, B., Podworny, S., Schulte, C., & Wassong, T. (Eds.). (2018). *Paderborn Symposium on Data Science Education at School Level 2017: The Collected Extended Abstracts*. Paderborn: Universitätsbibliothek Paderborn.
- Brunner R. J., & Kim E. J. (2016). *Teaching Data Science. International Conference on Computational Science 2016, ICCS 2016, 6-8 June 2016. San Diego, California, USA*.
- Bryant, C., Chen, Y., Chen, Z., Gilmour, J., Gumidyal, S., Herce-Hagiwara, B., Koures, A., Seoyeon, L., Msekela, J., Pham, AT., Remash, H., Remash, M., Schoenle, N., Zimmerman, J., Albright, S. D., & Rebelsky, S. A. (2019). A Middle-School Code Camp Emphasizing Data Science for Social Good. In *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '19)*. New York, NY, USA: ACM.
- Burrill, G., & Biehler, R. (2011). Fundamental statistical ideas in the school curriculum and in training teachers. In Batanero, C., Burrill, G., & Reading, C. (Eds.), *Teaching statistics in school mathematics: Challenges for teaching and teacher education – a joint ICMI/IASE study: The 18th ICMI study* (pp. 57–69). Dordrecht: Springer.
- Cardoso, A., Leitão J., & Teixeira C. (2019a). Using the Jupyter Notebook as a Tool to Support the Teaching and Learning Processes in Engineering Courses. In: Auer M., Tsiatsos T. (eds) *The Challenges of the Digital Transformation in Education. ICL 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 917. Cham: Springer.

- Cardoso, A., Leitão, J., Gil, P., Marques, A. S., & Simões, N. E. (2019b). Demonstration: Using IPython to Demonstrate the Usage of Remote Labs in Engineering Courses – A Case Study Using a Remote Rain Gauge. In M. E. Auer, & R. Langmann (Eds.), *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 714–720). Springer.
- Cetinkaya-Rundel, M., & Rundel, C. (2018). Infrastructure and Tools for Teaching Computing Throughout the Statistical Curriculum. *The American Statistician*, 72(1), 58–65.
- Chakravorty, D., McMullen, D., Liu, H., Ghaffari N., Rodriguez, D., Le, S., Gober, N., Wei, Z., Jordan, L., Pennings, M., Rodriguez, D., & Buchanan, C. (2019). Evaluating Active Learning Approaches for Teaching Intermediate Programming at an Early Undergraduate Level. *Journal of Computational Science Education*, 10(1), 61–66.
- Dawson, C., & Rakes, G. C. (2003). The influence of principals' technology training on the integration of technology into schools. *Journal of Research on Technology in Education*, 36(1), 29–49.
- Engel, J. (2017). Statistical literacy for active citizenship: A call for data science education. *Statistics Education Research Journal (SERJ)*, 16(1), 44–49.
- Engel, J. (Ed.) (2016). Promoting understanding of statistics about society. *Proceedings of the IASE Roundtable*. Retrieved June 10, 2019, from http://www.iase-web.org/Conference_Proceedings.php
- Engel, J., Gal, I., & Ridgway, J. (2016). Mathematical literacy and citizen engagement: The role of civic statistics. Paper presented at the 13th International Congress on Mathematics Education (ICME13).
- Granger, C. A., Morbey, M. L., Lotherington, H., Owston, R. D., & Wideman, H. H. (2002). Factors contributing to teachers' successful implementation of IT. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18(4), 480–488.
- Harari, Y. N. (2017). *Homo Deus: A brief history of tomorrow*. New York: Harper Collins Publishers.
- Heinemann, B., Opel, S., Budde, L., Schulte, C., Frischemeier, D., Biehler, R., Podworny, S., & Wassong, T. (2018): Drafting a Data Science Curriculum for Secondary Schools. In *Proceedings of the 18th Koli Calling International Conference on Computing Education Re-search (Koli Calling '18)*. ACM
- Kany, F., Louédoc, B. (2018). A SPOC Produced by Sophomores for Their Junior Counterparts. In: Uskov V., Howlett R., Jain L. (eds) *Smart Education and e-Learning 2017. SEEL 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol. 75. Cham: Springer.
- Ketcheson, D. I. (2014). Teaching numerical methods with IPython notebooks and inquiry-based learning. In Stéfán van der Walt & James Bergstra (Eds.), *Proceedings of the 13th Python in Science Conference* (pp. 19–25). Retrieved April 20, 2019, from <http://hdl.handle.net/10754/346689>
- Kluyver, T., Ragan-Kelley, B., Pérez, F., Granger, B., Bussonnier, M., Frederic, J., Kelley, K., Hamrick, J., Grout, J., Corlay, S., Ivanov, P., Avila, D., Abdalla, S., Willing, C., & Jupyter development team (2016). Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows. Loizides, Fernando and Schmidt, Birgit (eds.) In *Positioning and Power in Academic Publishing: Players, Agents and Agendas* (pp. 87–90). IOS Press.
- Kotsampopoulos, P., Hatziaargyriou, N., Strasser, T. I., Moyo, C., Rohjans, S., Steinbrink, C., & Burt, G. M. (2017). Validating Intelligent Power and Energy Systems – A Discussion of Educational Needs. *Proceedings of 8th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. 2017* (pp. 200–212). Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10444.
- Lovejoy, M., & Wickert, M. (2015). Using the IPython notebook as the computing platform for signals and systems courses. In: *IEEE Signal Processing and Signal Processing Education Workshop (SP/SPE 2015)* (pp. 289–294).
- Mobasher, B., Dettori, L., Raicu, D., Settini, R., Sonboli, N., & Stettler, M. (2019). Data Science Summer Academy for Chicago Public School Students. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 21(1), 49–52.
- O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. New York: Crown.
- O'Hara, K. J., Blank, D. S., & Marshall, J. B. (2015). Computational Notebooks for AI Education, *Computational Notebooks for AI Education* (pp. 263–268).
- Pérez, F., & Granger, B. E. (2007). IPython: A System for Interactive Scientific Computing, Computing in Science and Engineering. Retrieved May 20, 2019, from <http://ipython.org/>
- Pérez, F., & Granger, B. E. (2015). Project jupyter: Computational narratives as the engine of collaborative data science. Retrieved May 20, 2019, from <http://archive.ipython.org/JupyterGrantNarrative-2015.pdf>

- Perkel, J. M. (2018). Why Jupyter is data scientists' computational notebook of choice. *Nature*, 563, 145.
- Smarkola, C. (2011). A mixed-methodological technology adoption study. Cognitive Belief-Behavioral Model Assessments in Predicting Computer Usage Factors in the Classroom. In: Teo T. (Ed.), *Technology Acceptance in Education Research and Issues* (pp. 9-42).
- Srnec, M. N., Upadhyay, S., & Madura, J. D. (2016). Teaching Reciprocal Space to Undergraduates via Theory and Code Components of an IPython Notebook. *Journal of Chemical Education*, 93(12), 2106-2109.
- Suárez, A., Alvarez- Feijoo, M. A., Fernández González, R., & Arce, E. (2018). Teaching optimization of manufacturing problems via code components of a Jupyter Notebook. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 26(5), 1102-1110.
- Tissenbaum, M., Sheldon, J., & Sherman, M. (2018). The state of the field in computational thinking assessment. *Proceedings of the 2018 International Conference of the Learning Sciences, ICLS, 2* (pp. 1304-1311) (2018-June).
- Toews, C. (2017). Computational Inquiry in Introductory Statistics. *PRIMUS: Problems, Resources, and Issues in Mathematics Undergraduate Studies*, 27(7), 707-724.
- Vachovsky, M. E., Wu, G., Chaturapruek, S., Russakovsky, O., Sommer, R., & Fei-Fei, L. (2016). Toward More Gender Diversity in CS through an Artificial Intelligence Summer Program for High School Girls. In *Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education (SIGCSE '16)* (pp. 303-308). New York: ACM.
- Weigend, A. S. (2017). *Data for the people: how to make our post-privacy economy work for you*. New York: Basic Books.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 3-35.
- Yadav, A., Hong, H., & Stephenson, C. (2016). Computational thinking for all: Pedagogical approaches to embedding a 21st century problem solving in K-12 classrooms. *TechTrends*, 60, 565-568.
- Yu, Y. F., Chen, Y. (2018). Design and Development of High School Artificial Intelligence Textbook Based on Computational Thinking. *Open Access Library Journal*, 5(09), 1-14.
- Βοσνιάδου, Σ. (2006). *Παιδιά, Σχολεία και Υπολογιστές*. Αθήνα: Gutenberg.
- Μήτκας, Κ., Τσουλής, Μ., & Πόθος, Δ. (2014). Αξιοποίηση και εφαρμογή των ΤΠΕ στη διδακτική πράξη. *Ο Ρόλος της σχολικής μονάδας. Μελέτη Περίπτωσης. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου Ημαθίας «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και Επικοινωνιών στη διδακτική πράξη»* (σσ. 233-246), 4-6 Απριλίου. Νάουσα.
- Παπαδιάς, Β. (1985). *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας: Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας* (Τόμος 1). Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Φραγκάκη, Μ. (2007). Επιμόρφωση εκπαιδευτικών στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας: Μελέτη ενός μοντέλου επιμόρφωσης εκπαιδευτικών για την παιδαγωγική αξιοποίηση των Νέων Τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Διδακτορική Διατριβή (Αδημοσίευτη). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Μαθηματικών και Πληροφορικής.
- Φραγκάκη, Μ., Μακράκης, Β., Ράπτης, Α., & Ράπτη, Α. (2007). Εκπαιδευτικοί ως φορείς διδακτικής και κοινωνικής αλλαγής: Κριτικοαναστοχαστική έρευνα δράσης μιας Ηλεκτρονικής Κοινότητας Μάθησης για την παιδαγωγική αξιοποίηση των ΤΠΕ, στο *Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου συνεδρίου με διεθνή συμμετοχή για τις ΤΠΕ Α' τόμος* (σσ. 606-616). Σύρος, 4, 5 & 6 Μαΐου 2007.