



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ
ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκπαίδευση STEM: Σχεδιασμός Δραστηριοτήτων και Εκπαιδευτικών Σεναρίων για τη
ρύπανση της ατμόσφαιρας στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ΄ Λυκείου.

ΣΜΥΡΝΑΚΗ ΕΥΘΥΜΙΑ

A.M. 150373

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΚΙΟΛΜΑΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2022

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή/της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Εκπαίδευση STEM: Σχεδιασμός Δραστηριοτήτων και Εκπαιδευτικών Σεναρίων για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου.

Σμυρνάκη Ευθυμία

Επιβλέπων καθηγητής

Συνεπιβλέπων καθηγητής

Γκιόλμας Αριστοτέλης

Σκορδούλης Κωνσταντίνος

Πρόλογος

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κο Αριστοτέλη Γκιόλμα για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον συνεπιβλέποντα καθηγητή κο Κωνσταντίνο Σκορδούλη για τις παρατηρήσεις του στη διπλωματική εργασία.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια αναφέρεται ολοένα και περισσότερο η εκπαίδευση STEM (Science-Technology-Engineering-Mathematics) μέσω της οποίας η μάθηση προσεγγίζεται με διεπιστημονικό τρόπο με συνδυασμό της Επιστήμης, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Μαθηματικών. Στην εκπαίδευση STEM οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία κατά την μαθητοκεντρικά προσανατολισμένη διδασκαλία. Αναπτύσσουν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και κριτικής σκέψης, γίνονται καινοτόμοι και τεχνολογικά εγγράμματοι και μελλοντικό εργατικό δυναμικό με τα απαραίτητα προσόντα.

Στα πλαίσια της εργασίας επιχειρήθηκε η προσέγγιση του σχεδιασμού της διδασκαλίας της ενότητας της ρύπανσης της ατμόσφαιρας του μαθήματος της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM. Η διδασκαλία της ρύπανσης της ατμόσφαιρας κρίνεται αναγκαία εξαιτίας της αύξησης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας τα τελευταία χρόνια ως αποτέλεσμα του σύγχρονου τρόπου ζωής του ανθρώπου και της εμφάνισης των σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, η όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος. Είναι επομένως απαραίτητο οι μαθητές να οικοδομήσουν τις γνώσεις προκειμένου να επιτύχουν την κατανόηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και να αναπτύξουν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και λήψης αποφάσεων. Παράλληλα, οι μαθητές έχουν αναπτύξει εναλλακτικές ιδέες για τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δύσκολα αλλάζουν με την παραδοσιακή διδασκαλία.

Λέξεις-κλειδιά: Εκπαίδευση STEM, Φυσικές Επιστήμες, Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Abstract

In recent years, STEM (Science-Technology-Engineering-Mathematics) education is increasingly mentioned, through which learning is approached in an interdisciplinary way combining Science, Technology, Engineering and Mathematics. In STEM education, students are actively involved in the learning process through student-centered teaching. They develop problem-solving and critical thinking skills, they become innovative and technologically literate, and future workforce with the necessary qualifications.

In the context of this study, an attempt was made to approach the design of the teaching of air pollution of Biology course of the third class of High School, through the STEM education. The teaching of air pollution is considered necessary due to the increase of air pollution in recent years as a result of modern human lifestyle and the emergence of environmental problems such as greenhouse effect, ozone hole, acid rain and photochemical smog. It is therefore necessary for students to build knowledge in order to understand environmental problems and develop problem-solving and decision-making skills. At the same time, students have developed alternative ideas for environmental problems which change difficultly with traditional teaching.

Key-words: STEM education, Physics Sciences, air pollution

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	ii
Ευρετήριο εικόνων	v
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1. Εκπαίδευση STEM	
1.1 Ιστορική αναδρομή του όρου STEM	2
1.2 Τι είναι το STEM	2
1.3 Η εκπαίδευση STEM	3
1.4 Στόχοι της εκπαίδευσης STEM	4
1.5 Μέθοδοι διδασκαλίας στην εκπαίδευση STEM	7
1.6 Η εκπαίδευση STEM στην Ελλάδα	9
Κεφάλαιο 2. Ρύπανση της ατμόσφαιρας	
2.1 Ορισμός ατμοσφαιρικής ρύπανσης	11
2.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι	11
2.2.1 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων	11
2.2.2 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι	14
2.3 Σύγχρονα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης	19
2.3.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	19
2.3.2 Εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος	24
2.3.3 Όξινη βροχή	28
2.3.4 Φωτοχημικό νέφος	30

Κεφάλαιο 3. Διδακτική πρόταση για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM

3.1 Σημασία διδασκαλίας της ρύπανσης της ατμόσφαιρας	32
3.2 Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών	33
3.3 Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την ατμοσφαιρική ρύπανση	34
3.4 Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	36
3.5 Αξιοποίηση του πειράματος στη διδασκαλία	38
3.6 Αξιοποίηση των ΤΠΕ στη διδασκαλία	39
3.7 Σχεδιασμός διδασκαλίας	41
3.7.1 Σχέδιο μαθήματος για το φαινόμενο του θερμοκηπίου	42
3.7.2 Σχέδιο μαθήματος για την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος	47
3.7.3.Σχέδιο μαθήματος για την όξινη βροχή	50
3.7.4 Σχέδιο μαθήματος για το φωτοχημικό νέφος	53
Συμπεράσματα	56
Επίλογος	58
Βιβλιογραφικές αναφορές	59
Παράρτημα	
Φύλλο Εργασίας - Φαινόμενο του θερμοκηπίου	66
Φύλλο Εργασίας - Εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος	72
Φύλλο Εργασίας - Όξινη βροχή	74
Φύλλο Εργασίας - Φωτοχημικό νέφος	77

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 2.1 Ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη	14
Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου	20
Εικόνα 2.3 Παγκόσμιες μέσες ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της γης σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή (αριστερά). Ευρωπαϊκές μέσες ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της γης σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή (δεξιά)	23
Εικόνα 2.4 Παρατηρούμενη ετήσια μέση τάση της θερμοκρασίας από το 1960 έως το 2020 στην Ευρώπη	23
Εικόνα 2.5 Η τρύπα του όζοντος στην πορεία των ετών 1979, 1989, 2006, 2010	27
Εικόνα 2.6 Η τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής το 2021	28
Εικόνα 3.1 Φαινόμενο θερμοκηπίου παρουσία αερίων του θερμοκηπίου	43
Εικόνα 3.2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου παρουσία υαλοπινάκων	44
Εικόνα 3.3 Απορρόφηση φωτονίων από αέρια της ατμόσφαιρας	45
Εικόνα 3.4 Μεταβολή της θερμοκρασίας της γης με το πέρασμα των ετών	46
Εικόνα 3.5 Σχηματισμός του όζοντος	49
Εικόνα 3.6 Διάσπαση των χλωροφθορανθράκων	49
Εικόνα 3.7 Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος στην πορεία του χρόνου	50
Εικόνα 3.8 Ρύπανση του αέρα	55
Εικόνα 3.9 Δυναμικός χάρτης με μετρήσεις της ποιότητας αέρα	56

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται ο σχεδιασμός δραστηριοτήτων και εκπαιδευτικών σεναρίων για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας της Γ' τάξης Λυκείου. Η εργασία διαρθρώνεται σε τρία κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή του όρου STEM, αναλύεται ο όρος STEM αλλά και η εκπαίδευση STEM. Παρουσιάζονται ακόμη οι στόχοι της εκπαίδευσης STEM και περιγράφονται οι μέθοδοι διδασκαλίας που αξιοποιούνται σε αυτή. Τέλος, αναφορά γίνεται για τον τρόπο υλοποίησης της εκπαίδευσης STEM στην Ελλάδα. Στο δεύτερο κεφάλαιο αρχικά παρατίθεται ο ορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παρουσιάζονται οι πηγές των ατμοσφαιρικών ρύπων και απαριθμούνται οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι. Στη συνέχεια περιγράφονται τα σύγχρονα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης δηλαδή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, η όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος. Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας αρχικά αιτιολογείται η σημασία της διδασκαλίας ζητημάτων σχετικών με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με την ύπαρξη εναλλακτικών ιδεών από μέρους των μαθητών για τα περιβαλλοντικά προβλήματα γενικά και την ατμοσφαιρική ρύπανση ειδικότερα. Ακόμη, λόγος γίνεται για το νέο πλαίσιο διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών της σύγχρονης εποχής στο οποίο περιλαμβάνεται η αξιοποίηση του πειράματος καθώς και των ΤΠΕ (Τεχνολογίες των Πληροφοριών και των Επικοινωνιών). Τέλος, επιχειρείται ο σχεδιασμός μιας διδακτικής πρότασης για τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM μέσω της παράθεσης σχεδίων μαθήματος για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, την όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος.

Κεφάλαιο 1. Εκπαίδευση STEM

1.1. Ιστορική αναδρομή του όρου STEM

Ο όρος STEM αναφέρεται ολόενα και περισσότερο σε διεθνές επίπεδο τα τελευταία χρόνια. Η ταχέως μεταβαλλόμενη παγκόσμια οικονομία η οποία συνδέεται με τη διαρκή ανάπτυξη τεχνολογικών επιτευγμάτων καθιστούν αναγκαία την ύπαρξη ειδικευμένου εργατικού δυναμικού και εκπαιδευτικών που θα εκπαιδεύονται και θα εκπαιδεύουν αξιοποιώντας τις αρχές του STEM (Langdon et al., 2011). Τοποθετώντας τον όρο STEM στο ιστορικό του πλαίσιο σημειώνεται η αρχική χρησιμοποίησή του στην παραγωγή πρωτοποριακών για τη δεδομένη εποχή τεχνολογικών προϊόντων, όπως του λαμπτήρα ή του αυτοκινήτου, χωρίς ωστόσο το STEM να έχει θέση στην εκπαίδευση (White, 2014). Η ανάπτυξη της εκπαίδευσης STEM μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα από μια σειρά από ιστορικά γεγονότα όπως είναι ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος, οπότε και στόχος ήταν η στρατιωτική πρόοδος και η εκτόξευση του δορυφόρου Sputnik από τη Σοβιετική Ένωση τη δεκαετία του 1950 (Chesky & Wolfmeyer, 2015; NASA, 2012). Ακολουθεί η δημιουργία της NASA με την υλοποίηση διαστημικών προγραμμάτων και η ανάπτυξη εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών βασιζόμενων στις αρχές STEM στην εκπαίδευση τα προηγούμενα πενήντα χρόνια (NASA, 2012). Τη δεκαετία του '90 επινοείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (National Science Foundation, NSF) ο όρος SMET, ακρωνύμιο των λέξεων Science, Mathematics, Engineering, Technology τονίζοντας τη σπουδαιότητα των τεσσάρων αυτών κλάδων (Sanders, 2009). Ο όρος αντικαθίσταται το 2001 από τον όρο STEM, ακρωνύμιο των λέξεων Science, Technology, Engineering και Mathematics (Bybee, 2013).

1.2. Τι είναι το STEM

Ο όρος STEM αποτελείται από τις θεματικές περιοχές επιστήμη (Science), τεχνολογία (Technology), μηχανική (Engineering) και μαθηματικά (Mathematics) (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009). Ειδικότερα, η επιστήμη αφορά στη μελέτη του φυσικού κόσμου, συμπεριλαμβανομένων των σχετιζόμενων με τη φυσική, χημεία και βιολογία νόμων της φύσης καθώς και στην εφαρμογή αρχών και εννοιών που σχετίζονται με τους κλάδους αυτούς (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009; Vilorio, 2014). Επιπλέον, η επιστήμη αποτελεί το σώμα γνώσης που έχει παραχθεί

στην πορεία του χρόνου και τη διαδικασία που δημιουργεί καινούργια γνώση. Η γνώση της επιστήμης είναι η βάση της διαδικασίας του μηχανικού σχεδιασμού. Η τεχνολογία παρόλο που δεν είναι ένα σαφώς καθορισμένο με αυστηρή έννοια αντικείμενο, συνιστά ένα σύστημα ανθρώπων, γνώσης, οργάνωσης, διαδικασιών, συσκευών που επιτρέπουν τη δημιουργία τεχνολογικών συσκευών (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009). Η σύγχρονη τεχνολογία είναι αποτέλεσμα της επιστήμης και της μηχανικής στις οποίες χρησιμοποιούνται τεχνολογικά εργαλεία (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009; Vilorio, 2014). Η μηχανική συνιστά ένα σύνολο από γνώσεις αναφορικά με τον σχεδιασμό και τη δημιουργία προϊόντων καθώς και μια διαδικασία που επιτρέπει την επίλυση προβλημάτων και πραγματοποιείται υπό περιορισμούς στους οποίους περιλαμβάνονται οι νόμοι της φύσης, ο χρόνος, το οικονομικό κόστος, οι υπάρχοντες πόροι (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009). Στη μηχανική αξιοποιούνται η επιστήμη, τα μαθηματικά και τεχνολογικά μέσα (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009; Vilorio, 2014). Η μηχανική, που εστιάζει στη διαδικασία και στον σχεδιασμό λύσεων, επιτρέπει την ενασχόληση των μαθητών με την εξερεύνηση της επιστήμης και των μαθηματικών και συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης οι οποίες αξιοποιούνται στη σχολική και επαγγελματική ζωή των ατόμων (Lantz, 2009). Τα μαθηματικά αφορούν στη μελέτη των προτύπων και των σχέσεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στις ποσότητες, τους αριθμούς και τον χώρο. Η ανατροπή της μαθηματικής γνώσης που ακολουθεί την ανάπτυξή της αντίθετα από αυτήν της επιστήμης απαιτεί τον μετασχηματισμό θεμελιωδών παραδοχών (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009). Τα μαθηματικά αξιοποιούνται στην επιστήμη, τη μηχανική αλλά και την τεχνολογία (National Academy of Engineering and National Research Council, 2009; Vilorio, 2014).

1.3 Η εκπαίδευση STEM

Η χρήση του όρου «STEM» αποτελεί μια αναφορά στις θεματικές περιοχές της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών με τις οποίες ασχολούνται μεμονωμένα οι αντίστοιχοι επιστήμονες. Ωστόσο, η χρήση του όρου «εκπαίδευση STEM» δηλώνει την αλληλεπίδραση των διαφορετικών θεματικών περιοχών και τη θεώρησή τους ως μια ολότητα (Sanders, 2009; STEM Task Force Report, 2014). Η ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM λοιπόν αναφέρεται στη διδακτική προσέγγιση όπου αξιοποιούνται δύο ή

περισσότερες θεματικές περιοχές του STEM ή ακόμα και μία θεματική περιοχή του STEM και ενός ή περισσότερων επιπλέον μαθημάτων (Sanders, 2009).

Η εκπαίδευση STEM αποτελεί μια διεπιστημονική προσέγγιση στη μάθηση, όπου οι αυστηρές ακαδημαϊκές έννοιες συνδυάζονται με πραγματικά προβλήματα του κόσμου και οι μαθητές εφαρμόζουν την Επιστήμη, την Τεχνολογία, τη Μηχανική και τα Μαθηματικά με τρόπο που να δημιουργούνται συνδέσεις μεταξύ σχολείου, κοινότητας, εργασίας και παγκόσμιας πρωτοβουλίας, επιτρέποντας την ανάπτυξη του εγγραμματισμού STEM και τη δυνατότητα να είναι ανταγωνιστικοί στη νέα οικονομία (Tsupros, Kohler & Hallinen, 2009 όπ.αναφ. στο Lantz, 2009).

Η εκπαίδευση STEM αφορά στη διδασκαλία και μάθηση στους τομείς της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών με εκπαιδευτικές δραστηριότητες που καλύπτουν όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες δηλαδή, προσχολική έως και μεταδιδακτορική εκπαίδευση, σε τυπικά και άτυπα περιβάλλοντα μάθησης (Gonzalez & Kuenzi, 2012). Επιπλέον, στην εκπαίδευση STEM οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά στην κατανόηση του κόσμου, την ανακάλυψη της γνώσης και στην επίλυση προβλημάτων της καθημερινής ζωής μέσω της μαθητοκεντρικά προσανατολισμένης διδασκαλίας που διεξάγεται με διεπιστημονικό τρόπο (Lantz, 2009; Morrison, 2006; Stohlmann, Moore & Roehrig, 2012). Ο σύγχρονος πολίτης πλέον καλείται να μην είναι μόνο γνώστης μαθηματικών και φυσικών επιστημών αλλά να συνδυάζει το περιεχόμενο αυτών των πεδίων με τις θεματικές περιοχές της τεχνολογίας και της μηχανικής, γεγονός που επιτυγχάνεται μέσω της εκπαίδευσης STEM (Chesky & Wolfmeyer, 2015; Kennedy & Odell, 2014; STEM Task Force Report, 2014).

1.4 Στόχοι της εκπαίδευσης STEM

Η εκπαίδευση STEM μέσω του διεπιστημονικού της χαρακτήρα επιτρέπει στους μαθητές να διερευνούν τον κόσμο και να εφαρμόζουν την κατανόησή τους για τον τρόπο λειτουργίας του στο πλαίσιο της θεώρησης των τεσσάρων συνιστωσών ως μια ολότητα (NGA, 2007).

Στόχος της εκπαίδευσης STEM είναι η ανάπτυξη από τους μαθητές του επιστημονικού, τεχνολογικού, μηχανικού και μαθηματικού εγγραμματισμού ώστε να είναι σε θέση να κατανοούν τον τρόπο λειτουργίας του κόσμου, στοιχεία απαραίτητα για την επαγγελματική τους σταδιοδρομία ως αυριανοί πολίτες (NGA, 2007). Ειδικότερα, ο επιστημονικός εγγραμματισμός αποτελεί την ικανότητα χρήσης της επιστημονικής γνώσης και των

αντίστοιχων διαδικασιών προκειμένου να πραγματοποιείται η κατανόηση του φυσικού κόσμου και να λαμβάνονται αποφάσεις που επηρεάζουν τα άτομα στην επιστήμη σε ζωή και υγεία, στην επιστήμη στη Γη και το περιβάλλον και στην επιστήμη στην τεχνολογία (OECD, 2003). Ο τεχνολογικός εγγραμματισμός που αφορά στην ικανότητα χρήσης, διαχείρισης, κατανόησης και αξιολόγησης της τεχνολογίας καθιστά τους μαθητές ικανούς να αντιλαμβάνονται τον τρόπο χρησιμοποίησης και ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών και να καλλιεργούν δεξιότητες ανάλυσης του ρόλου των νέων τεχνολογιών στη ζωή των ανθρώπων και στον κόσμο. Ο μηχανικός εγγραμματισμός αναφέρεται στην κατανόηση του τρόπου ανάπτυξης των τεχνολογιών μέσω της διαδικασίας μηχανικού σχεδιασμού δηλαδή μέσω της συστηματικής και δημιουργικής εφαρμογής των επιστημονικών και των μαθηματικών αρχών (ITEA, 2007). Ο μαθηματικός εγγραμματισμός αφορά στην ικανότητα των μαθητών για ανάλυση, αιτιολόγηση και αποτελεσματική επικοινωνία των ιδεών, καθώς ορίζουν, διατυπώνουν, λύνουν και ερμηνεύουν λύσεις μαθηματικών προβλημάτων σε διαφορετικές καταστάσεις (OECD, 2003).

Ενώ οι τέσσερις θεματικές περιοχές του STEM αφορούν σε κατηγορίες γνώσης, η εκπαίδευση STEM περιλαμβάνει ακόμη στρατηγικές μάθησης και ικανότητες και συνδέεται με δεξιότητες, ικανότητες, εργασιακά ενδιαφέροντα και εργασιακές αξίες. Στις δεξιότητες συγκαταλέγονται δεξιότητες που αφορούν σε συγκεκριμένο γνωστικό περιεχόμενο, δεξιότητες επεξεργασίας, όπως είναι η κριτική σκέψη και η αυτογνωσία καθώς και δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων. Οι ικανότητες, στις οποίες περιλαμβάνονται η δημιουργικότητα, η καινοτομία, η συλλογιστική και η επικοινωνία σε προφορικό και γραπτό επίπεδο, είναι τα ατομικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση στην εργασία. Τα εργασιακά ενδιαφέροντα αφορούν στην προτίμηση του ατόμου για συγκεκριμένα εργασιακά περιβάλλοντα. Τέλος, οι εργασιακές αξίες αφορούν στην προτίμηση του ατόμου για επίτευξη συγκεκριμένων αποτελεσμάτων στην εργασία όπως είναι η αναγνώριση και η πρόοδος. Υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για αυτές τις ικανότητες σε όλη τη σημερινή οικονομία πέρα από τα παραδοσιακά επαγγέλματα STEM, υπογραμμίζοντας τη σημασία της εφαρμογής μιας ευρείας στρατηγικής STEM στην εκπαίδευση στην Αμερική. Βέβαια, η σύγχρονη και συνεχώς μεταβαλλόμενη αγορά εργασίας απαιτεί από τους μαθητές να καλλιεργούν παράλληλα την αυτογνωσία και την προσαρμοστικότητά τους σε ένα πλαίσιο μιας δια βίου διαδικασίας μάθησης (STEM Task Force Report, 2014).

Στόχος της εκπαίδευσης STEM είναι να αποτελέσει τον πυλώνα της προόδου μιας χώρας όσον αφορά στην τεχνολογία και τη μηχανική προκειμένου να είναι ανταγωνιστική στην παγκόσμια οικονομία. Επιπρόσθετα, η εκπαίδευση STEM και η κατανόηση από μέρους των ατόμων του διεπιστημονικού τρόπου σύνδεσης των θεματικών της περιοχών συνδέεται με καλλιέργεια του αντίστοιχου εγγραμματισμού τους και την απόκτηση της ικανότητας να εξασφαλίσουν μια θέση στην παγκόσμια αγορά εργασίας (Brown et al., 2011; Bybee, 2010; Carnevale, Melton & Smith, 2011; NGA, 2007).

Με την εκπαίδευση STEM οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να γίνουν:

- ικανοί λύτες προβλημάτων ώστε να διερευνούν τα αναδυόμενα προβλήματα και να εφαρμόζουν τα εξαγόμενα συμπεράσματα σε νέες καταστάσεις.
- καινοτόμοι ώστε να χρησιμοποιούν τις συνιστώσες του STEM και να εφαρμόζουν τον μηχανικό σχεδιασμό.
- εφευρέτες ώστε να αναγνωρίζουν τις ανάγκες του κόσμου και να σχεδιάζουν και να εφαρμόζουν λύσεις.
- αυτοδύναμοι, δηλαδή να θέτουν στόχους, να έχουν αυτοπεποίθηση και να ολοκληρώνουν το έργο τους σε καθορισμένα χρονικά πλαίσια.
- λογικοί στοχαστές, χρησιμοποιώντας τη λογική τους σκέψη και κάνοντας τις απαραίτητες συνδέσεις ώστε να κατανοούν τα φυσικά φαινόμενα.
- τεχνολογικά εγγράμματοι ώστε να κατανοούν τη φύση της τεχνολογίας και να έχουν καλλιεργήσει τις απαραίτητες δεξιότητες για να την εφαρμόζουν με τον κατάλληλο τρόπο (Morrison, 2006; Σδράλλης & Κολέζα, 2019).

Σκοπός της εκπαίδευσης STEM είναι οι μαθητές να εκπαιδευτούν στην εφαρμογή του βασικού περιεχομένου και των πρακτικών των συνιστωσών του STEM σε καταστάσεις της πραγματικής τους ζωής. Ειδικότερα, ο γραμματισμός STEM αφορά στις γνώσεις, τις στάσεις και τις δεξιότητες των ατόμων ώστε να εντοπίζουν ερωτήματα και προβλήματα σε καταστάσεις της ζωής, να εξηγούν τον φυσικό και τον τεχνητό κόσμο και να εξάγουν τεκμηριωμένα συμπεράσματα. Ο γραμματισμός STEM αφορά επίσης στην κατανόηση των γνωρισμάτων των συνιστωσών του STEM ως μορφών γνώσης, έρευνας και σχεδιασμού καθώς και στη συνειδητοποίηση του τρόπου με τον οποίο οι συνιστώσες αυτές επηρεάζουν τη διαμόρφωση του υλικού, του πνευματικού και του πολιτιστικού περιβάλλοντος. Ακόμη, ο γραμματισμός STEM σχετίζεται με την προθυμία εμπλοκής των ατόμων σε θέματα που

αφορούν στην επιστήμη, την τεχνολογία, τη μηχανική και τα μαθηματικά ως πολίτες που χαρακτηρίζονται από τον απαραίτητο προβληματισμό και στοχασμό (Bybee, 2013).

1.5 Μέθοδοι διδασκαλίας στην εκπαίδευση STEM

Η ενσωμάτωση του STEM στο σχολείο πρωταρχικό στόχο έχει να εμπλέξει τους μαθητές στη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων του πραγματικού κόσμου μέσω πειραματισμού, έρευνας, μοντελοποίησης και σχεδιασμού. Η επίτευξη αυτού του στόχου είναι συνυφασμένη με την απομάκρυνση από τον παραδοσιακό - δασκαλοκεντρικό τρόπο διδασκαλίας και την επιλογή μαθητοκεντρικών πρακτικών (Mayes & Gallant, 2018). Οι διδακτικές μέθοδοι που είναι κατάλληλες για την εκπαίδευση STEM είναι η μάθηση που βασίζεται σε σχέδιο εργασίας (Project-based learning), η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος (Problem-based learning) (Erdogan & Stuessy, 2015; Mayes & Gallant, 2018), η εκπαίδευση που βασίζεται στην τοποθεσία (Place-based education) (Mayes & Gallant, 2018) και η ανακαλυπτική μάθηση (Inquiry-based learning) (Erdogan & Stuessy, 2015).

Η μάθηση που βασίζεται σε σχέδιο εργασίας (Project-based learning) υπάρχει εδώ και αρκετά χρόνια. Στη διδακτική αυτή προσέγγιση όπου έχουν προσδιοριστεί οι απαραίτητοι μαθησιακοί στόχοι, οι μαθητές αντιμετωπίζουν αυθεντικές εμπειρίες, επιλύουν πραγματικά προβλήματα αναπτύσσοντας την κριτική τους σκέψη και οικοδομούν έννοιες από το πεδίο της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών (Capraro & Slough, 2013). Ο εκπαιδευτικός στην προσέγγιση αυτή έχει τη δυνατότητα να αναθέσει μια εργασία στους μαθητές οι οποίοι εμπλέκονται ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία εργαζόμενοι συνεργατικά σε μικρές ομάδες με πραγματοποίηση συνεχούς έρευνας με βάση τον προβληματισμό τους για τη μάθηση ακολουθώντας διεπιστημονικές προσεγγίσεις. Στη μάθηση που βασίζεται σε σχέδιο εργασίας η αξιολόγηση πραγματοποιείται μέσω μιας εργασίας και παράλληλα εξάγονται τα τελικά προϊόντα της μαθησιακής διαδικασίας. Η ανάθεση ενός συγκεκριμένου θέματος προς εργασία από τον εκπαιδευτικό προς τους μαθητές, τού δίνει τη δυνατότητα να εστιάσει σε συγκεκριμένες επιστημονικές έννοιες ωστόσο, με τον τρόπο αυτό περιορίζονται τα προβλήματα ανοιχτού τύπου, η έρευνα σε πολλαπλές πηγές και η ποικιλία ερμηνειών και αποτελεσμάτων (Mayes & Gallant, 2018). Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι η καθοδήγηση και η επίβλεψη της συνεργατικής δράσης των μαθητών προκειμένου να ολοκληρώσουν το έργο τους το οποίο βασίζεται σε θέματα του πραγματικού κόσμου (Sahin, 2013).

Η μάθηση μέσω επίλυσης προβλήματος (Problem-based learning) εμπλέκει τους μαθητές στη συνεργατική απάντηση ερωτήσεων και επίλυση προβλημάτων αξιοποιώντας τις εμπειρίες τους. Στην προσέγγιση αυτή η μάθηση καθοδηγείται από ανοιχτού τύπου προβλήματα στα οποία οι μαθητές εργάζονται σε ομάδες ενώ, ο ρόλος του εκπαιδευτικού επικεντρώνεται στη διευκόλυνση της μαθησιακής διαδικασίας (Lantz, 2009). Οι μαθητές ενθαρρύνονται να διερευνήσουν και να επεξεργαστούν προβλήματα τα οποία είναι καινούργια γι' αυτούς αναπτύσσοντας παράλληλα τις απαιτούμενες δεξιότητες. Ο κύκλος μάθησης που ακολουθείται ξεκινάει από την ύπαρξη ενός προβλήματος και τον εντοπισμό των θεμάτων μάθησης ενώ, έπεται η διαδικασία της μάθησης, η εφαρμογή της μάθησης και η αναδιατύπωση του προβλήματος (Smith, Douglas & Cox, 2009). Οι μαθητές αποκτούν μεγαλύτερο κίνητρο για εμπλοκή στη μαθησιακή διαδικασία όταν το πρόβλημα προς επίλυση είναι μαθητοκεντρικά προσανατολισμένο (Mayes & Gallant, 2018).

Η εκπαίδευση που βασίζεται στην τοποθεσία (Place-based education) λαμβάνει υπόψη της τη συνάφεια του πραγματικού κόσμου με την τοποθεσία του μαθητή. Στην προσέγγιση αυτή οι μαθητές εργάζονται μέσα σε ένα ρεαλιστικό κοινωνικό πλαίσιο που αφορά στον δικό τους τόπο έχοντας με τον τρόπο αυτόν τη δυνατότητα εμπλοκής στην περισσότερο μαθητοκεντρικά προσανατολισμένη εμπειρία. Οι μαθητές καλούνται να συνδέσουν ζητήματα ευρύτερης κλίμακας με την περιοχή τους, να εντοπίσουν ενδιαφέροντα για τους ίδιους προβλήματα και να ενεργήσουν με τον κατάλληλο τρόπο σε τοπικό επίπεδο (Mayes & Gallant, 2018).

Η ανακαλυπτική μάθηση (Inquiry-based learning) είναι μια προσέγγιση μάθησης και διδασκαλίας κατά την οποία οι μαθητές εμπλέκονται στις διαδικασίες διερεύνησης και ανακάλυψης σύμφωνα με τα ενδιαφέροντά τους μέσω ερωτήσεων που θέτουν, σχεδιασμού και εκτέλεσης ερευνητικών στρατηγικών, συλλογής πληροφοριών από διάφορες πηγές, παρουσίασης των πληροφοριών και αντανάκλασης της δικής τους μάθησης. Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι η καθοδήγηση των μαθητών και η ενθάρρυνσή τους να θέτουν νέες ερωτήσεις λαμβάνοντας υπόψη τις πρότερες γνώσεις και τις εμπειρίες των μαθητών (Sahin, 2013).

Οι παιδαγωγικές προσεγγίσεις που αξιοποιούνται στην εκπαίδευση STEM παρέχουν ουσιαστικές ευκαιρίες μάθησης στους μαθητές, προωθούν τη συνεργατική μάθηση, την καινοτομία, την ανάπτυξη κριτικής σκέψης και διεπιστημονική σύνδεση των πεδίων της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών (Kennedy & Odell, 2014).

1.6 Η εκπαίδευση STEM στην Ελλάδα

Η Ελλάδα καταλαμβάνει μία από τις χαμηλότερες θέσεις όσον αφορά στη μέση επίδοση των μαθητών στις φυσικές επιστήμες και τα μαθηματικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα του διαγωνισμού PISA του 2018. Ειδικότερα, οι μαθητές της Ελλάδας σημείωσαν μικρότερες βαθμολογίες από τον μέσο όρο των χωρών του ΟΟΣΑ (OECD, 2019).

Το εγχείρημα της ένταξης του STEM στον σχεδιασμό των αναλυτικών προγραμμάτων αναφέρεται σε πράξη του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής. Ειδικότερα, προτείνεται η ένταξη του STEM κατά τον σχεδιασμό των αναλυτικών προγραμμάτων καθώς η μάθηση πραγματοποιείται με την ολιστική προσέγγιση οπότε είναι αποτελεσματικότερη και επιπρόσθετα επιτυγχάνεται η γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της επιστήμης και των εφαρμογών της. Η εκπαίδευση λοιπόν με την αξιοποίηση του STEM θα επιτύχει καλύτερη προετοιμασία εκείνων που θα ασχοληθούν με την τεχνολογία και την επιστήμη του 21ου αιώνα (ΙΕΠ, 2015).

Επιπρόσθετα, με την ίδρυση της Ελληνικής Εκπαιδευτικής Ένωσης STEM το 2012 επιδιώκεται η διάδοση της επιστημολογίας, των μεθόδων και των διδακτικών αρχών της εκπαίδευσης STEM καθώς και η παρουσίαση προτάσεων υλοποίησης μοντέλων διδασκαλίας μέσω σεμιναρίων και επιμορφώσεων αλλά και μέσω της ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού (Ελληνική Εκπαιδευτική Ένωση STEM, 2021).

Επιπλέον, το έργο Scientix που δημιουργήθηκε από το Ευρωπαϊκό Σχολικό Δίκτυο, στο οποίο περιλαμβάνεται και η Ελλάδα, στόχο έχει την προώθηση της διάδοσης και της ανταλλαγής εκπαιδευτικών τεχνικών στην Ευρώπη όσον αφορά στο πεδίο των μαθηματικών, της επιστήμης και της τεχνολογίας ενισχύοντας την εκπαίδευση STEM (Scientix, 2015).

Ακόμη, το έργο PhET που δημιουργήθηκε το 2002 περιλαμβάνει διαδραστικές προσομοιώσεις που αφορούν στις φυσικές επιστήμες και τα μαθηματικά πολλές από τις οποίες είναι μεταφρασμένες στην ελληνική γλώσσα και διατίθενται δωρεάν. Το ψηφιακό εκπαιδευτικό υλικό προωθεί τη διερευνητική και ανακαλυπτική μάθηση με έναν παιγνιώδη τρόπο και είναι εύκολα προσβάσιμο τόσο από εκπαιδευτικούς όσο και από μαθητές (PhET University of Colorado, 2022a).

Τέλος, ένα εκπαιδευτικό εργαλείο που μπορεί να αξιοποιηθεί στο πλαίσιο της εκπαίδευσης STEM αποτελεί το Φωτόδεντρο το οποίο είναι ο Εθνικός Συσσωρευτής Εκπαιδευτικού

Περιεχομένου για την Πρωτοβάθμια και τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Το ψηφιακό εκπαιδευτικό υλικό είναι εύκολα προσβάσιμο από εκπαιδευτικούς και μαθητές (Photodentro, 2021).

Κεφάλαιο 2. Ρύπανση της ατμόσφαιρας

2.1 Ορισμός ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η ύπαρξη στην ατμόσφαιρα ρύπων όπως ουσίες, θόρυβος ή ακτινοβολία σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που να είναι δυνατή η πρόκληση αρνητικών συνεπειών στην υγεία τόσο του ανθρώπου όσο και των υπόλοιπων ζωντανών οργανισμών καθώς και στα οικοσυστήματα σε βραχυπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο χρόνο (Ζάνης, 2014). Με μια άλλη διατύπωση, ένας ρύπος συνιστά απειλή για το οικοσύστημα όταν ο ρυθμός εισαγωγής του σε αυτό είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό εξαγωγής του (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Η ατμοσφαιρική ρύπανση δύναται να υπάρχει σε τοπική, αστική, περιφερειακή, ηπειρωτική και πλανητική κλίμακα (Ρεμουντάκη, 2010).

2.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι

2.2.1 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι πηγές από τις οποίες γίνεται η εκπομπή των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι οι φυσικές πηγές και οι ανθρωπογενείς πηγές. Οι φυσικές πηγές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων είναι πηγές που δεν σχετίζονται με την επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας ωστόσο είναι υπεύθυνες για την παραγωγή του μεγαλύτερου ποσοστού των αέριων ρύπων. Οι ανθρωπογενείς πηγές σχετίζονται κυρίως με την καύση διαφόρων καυσίμων αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και αποτελούν την κύρια αιτία των μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων λόγω της εκπομπής μεγάλης ποσότητας ανθρωπογενών ρύπων σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές (Ζάνης, 2014).

Στις φυσικές πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων περιλαμβάνεται η χλωρίδα, οι ωκεανοί, οι δασικές πυρκαγιές, τα ηφαίστεια, η αποσάθρωση του εδάφους και η βιολογική αποσύνθεση ζώων και φυτών (Ζάνης, 2014). Πιο συγκεκριμένα, η χλωρίδα της γης συνιστά την κύρια φυσική πηγή απελευθέρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων και ειδικότερα υδρογονανθράκων παράλληλα με την πραγματοποίηση της ζωτικής σημασίας διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και της παραγωγής οξυγόνου (Lagzi et al., 2013; Μελάς κ.α., 2000). Ιδιαίτερα σημαντική φυσική πηγή ρύπων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αποτελούν οι ωκεανοί. Ειδικότερα, οι βενθικοί και φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί παράγουν μεγάλες ποσότητες θειούχων ενώσεων ενώ, λόγω της διάβρωσης των πετρωμάτων που προκαλούν τα κύματα παράγονται σωματίδια τα οποία

μπορούν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα (Μελάς κ.α., 2000). Επιπλέον, υδροσταγονίδια με άλατα όπως χλωριούχο νάτριο (NaCl) και θειϊκό μαγνήσιο (MgSO_4) παρασύρονται από τον άνεμο και καταλήγουν στην ατμόσφαιρα ως ατμοσφαιρικά αιωρήματα (Lagzi et al., 2013; Μελάς κ.α., 2000).

Οι δασικές πυρκαγιές που δεν προέρχονται από δραστηριότητες των ανθρώπων αποτελούν επίσης σημαντική φυσική πηγή εκπομπής αέριων ρύπων. Οι πυρκαγιές αυτές συντελούνται κατά τη θερινή περίοδο οπότε και επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες αλλά και εξαιτίας κεραυνών κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων (Lagzi et al., 2013; Μελάς κ.α., 2000). Οι πυρκαγιές των δασών είναι υπεύθυνες για την παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων, με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) να αποτελεί το κύριο προϊόν καύσης βιομάζας μαζί με τους υδρατμούς ενώ, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (Ζάνης, 2014; Lagzi et al., 2013), οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs) και τα οξείδια του αζώτου και του θείου να αποτελούν προϊόντα ατελούς καύσης (Lagzi et al., 2013).

Επιπρόσθετα, οι εκρήξεις ηφαιστείων είναι υπεύθυνες για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2), το υδρόθειο (H_2S) (Ζάνης, 2014; Lagzi et al., 2013; Μελάς κ.α., 2000), το μεθάνιο (CH_4) (Ζάνης, 2014; Μελάς κ.α., 2000), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το υδροχλώριο (HCl) και άλλες ενώσεις αλογόνου (Lagzi et al., 2013). Οι εκπομπές αυτών των σωματιδίων και των αερίων ξεπερνούν τα όρια της τροπόσφαιρας διαφεύγοντας σε μεγάλα ύψη, διανύουν μεγάλες αποστάσεις και παραμένουν για μεγάλο χρόνο στην ατμόσφαιρα (Μελάς κ.α., 2000; Ρεμουντάκη, 2010).

Επιπλέον, η αποσάθρωση του εδάφους υπό την επίδραση του ανέμου συνδέεται με τη δημιουργία ατμοσφαιρικών αιωρημάτων από συστατικά που προέρχονται από την επιφάνειά του. Τα αιωρούμενα σωματίδια εκτός των άλλων περιορίζουν την ορατότητα της ατμόσφαιρας (Μελάς κ.α., 2000). Η αποσάθρωση του εδάφους πραγματοποιείται περισσότερο σε μέρη με περιορισμένη ή και καθόλου βλάστηση (Ρεμουντάκη, 2010). Τέλος, από τη βιολογική αποσύνθεση της νεκρής οργανικής ύλης των φυτικών και ζωικών οργανισμών απελευθερώνονται κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία (NH_3) και υδρόθειο (H_2S) (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007).

Στις ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης συγκαταλέγεται η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας, οι μεταφορές και η θέρμανση κτιρίων (Μελάς κ.α., 2000; Ρεμουντάκη,

2010). Οι καύσεις που πραγματοποιούνται κατά τις διαδικασίες παραγωγής ενέργειας και χρησιμοποίησης ενέργειας για παραγωγή προϊόντων και επεξεργασία και μεταποίηση υλών αποτελούν την κύρια ανθρωπογενή πηγή ατμοσφαιρικών ρύπων (Lagzi et al., 2013; Μελάς κ.α., 2000). Τα κύρια προϊόντα των διαδικασιών καύσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το νερό ενώ, απελευθερώνονται και πολλά παραπροϊόντα λόγω ατελούς καύσης ή λόγω οξείδωσης άκαυστων ουσιών στον θάλαμο καύσης. Το είδος των εκπεμπόμενων αερίων σχετίζεται με το είδος καυσίμου αλλά και με τη διεργασία καύσης (Lagzi et al., 2013).

Στους αέριους ρύπους που προέρχονται από τη βιομηχανική δραστηριότητα και την παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνεται το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x) περισσότερο ως μονοξείδιο του αζώτου (NO), διοξείδιο του θείου (SO_2), πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs), βαρέα μέταλλα (HM), αιωρούμενα σωματίδια (PM), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) (Lagzi et al., 2013).

Οι χερσαίες, θαλάσσιες και εναέριες μεταφορές αποτελούν μια ακόμη σημαντική πηγή ανθρωπογενών ρύπων ως αποτέλεσμα διαδικασιών καύσης. Οι πιο σημαντικοί από τους ρύπους που εκπέμπονται από τα μέσα μεταφοράς είναι οι πρόδρομες ενώσεις του όζοντος δηλαδή το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs), τα αέρια που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου δηλαδή το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O). Στους ρύπους που εκπέμπονται από τα μέσα μεταφοράς μπορεί επίσης να περιλαμβάνεται το διοξείδιο του θείου (SO_2), βαρέα μέταλλα, αιωρούμενα σωματίδια (PM) (Lagzi et al., 2013).

Η οικιακή θέρμανση που συνεισφέρει στην ατμοσφαιρική ρύπανση σε μια συγκεκριμένη μόνο περίοδο του έτους παράγει καπνό, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του θείου (SO_x), οξείδια του αζώτου (NO_x), πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs), αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM2,5) (Lagzi et al., 2013).

Σε γενικές γραμμές οι μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων συνεισφέρουν στο 60% της συνολικής ετήσιας εκπομπής αερίων ρύπων από ανθρωπογενείς πηγές, οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συνεισφέρουν στη συνολική ετήσια εκπομπή 10-15%, η θέρμανση των κτιρίων συνεισφέρει 10%, οι εκπομπές από τη βιομηχανική δραστηριότητα 20% και άλλες καύσεις συνεισφέρουν στο 5% (Ζάνης, 2014).

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Πρωτογενείς ρύποι είναι οι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα απευθείας από μια πηγή. Σε αυτούς ανήκει το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂) (Ζάνης, 2014; Ρεμουντάκη, 2010), το μονοξείδιο του αζώτου (NO) (Ζάνης, 2014), πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs), μεθάνιο (CH₄) (European Environment Agency, 2021a). Δευτερογενείς ρύποι είναι οι ρύποι που παράγονται από τους πρωτογενείς ρύπους με χημικές ή φωτοχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα. Σε αυτούς περιλαμβάνεται το όζον (O₃), το νιτρικό υπεροξυ-ακετύλιο (PAN) (European Environment Agency, 2021a; Ρεμουντάκη, 2010), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), αρκετές πτητικές οργανικές ενώσεις (European Environment Agency, 2021a).



Εικόνα 2.1 Ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ευρώπη. Διαφορετικοί ρυπαντές απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από ποικίλες πηγές όπως 1. Γεωργικές εργασίες, 2. Παραγωγή και διανομή ενέργειας, 3. Φυσικές διεργασίες, 4. Απόβλητα, 5. Χερσαίες μεταφορές, 6. Καύσεις καυσίμων (European Environment Agency, 2021a).

2.2.2 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται μέσω της ατελούς καύσης καυσίμων κυρίως στις μηχανές των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων αλλά και των μηχανών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία (Ζάνης, 2014; Μελάς κ.α., 2000). Η συνεισφορά των αυτοκινήτων στην απελευθέρωση μονοξειδίου του άνθρακα από ανθρωπογενείς πηγές είναι 75% ενώ, η

συνεισφορά της βιομηχανίας είναι 25%. Αναφορικά με τις φυσικές πηγές απελευθέρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα η οξείδωση του μεθανίου της ατμόσφαιρας θεωρείται η πιο σημαντική (Ζάνης, 2014). Η εποχική διακύμανση εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με τις καιρικές συνθήκες δημιουργεί υψηλότερες συγκεντρώσεις τη χειμερινή περίοδο και χαμηλότερες τη θερινή (Lagzi et al., 2013). Επιπλέον, οι κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν κατά τις πρωινές και μεταμεσημβρινές ώρες στις κατοικημένες περιοχές δημιουργούν υψηλότερες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα αυτές τις ώρες της ημέρας (Μελάς κ.α., 2000).

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για τη μείωση της ικανότητας του αίματος για μεταφορά οξυγόνου στον οργανισμό επηρεάζοντας έτσι το καρδιαγγειακό και το νευρικό σύστημα (Ζάνης, 2014). Αιτία της μειωμένης ικανότητας μεταφοράς οξυγόνου μέσω της κυκλοφορίας του αίματος αποτελεί ο σχηματισμός της καρβοξυαιμοσφαιρίνης από το μονοξείδιο του άνθρακα (Lagzi et al., 2013). Το μονοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα ανάλογα με τη συγκέντρωσή του σχετίζεται με πρόκληση ζαλάδων, πονοκεφάλων, κόπωσης, μειωμένη πνευματική διαύγεια και προβλήματα όρασης (Ζάνης, 2014).

Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα με την ένωση του θείου με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας κατά τις διεργασίες καύσης καυσίμων στα οποία βρίσκεται το θείο (Ζάνης, 2014; Lagzi et al., 2013; Μελάς, Μπάης & Μπαλής, 2015). Το διοξείδιο του θείου μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις από τον τόπο απελευθέρωσής του. Επιπρόσθετα, το διοξείδιο του θείου κατά την αντίδρασή του στην ατμόσφαιρα με όζον ή με υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂) σχηματίζει τριοξείδιο του θείου (SO₃) από το οποίο σχηματίζεται διάλυμα θειϊκού οξέος (H₂SO₄) μέσω της διάλυσής του στο νερό. Το θειϊκό οξύ είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής (Ζάνης, 2014; Lagzi et al., 2013).

Το διοξείδιο του θείου εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τη θέρμανση κτιρίων, τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα. Οι δραστηριότητες του ανθρώπου συνεισφέρουν στην απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων θείου στην ατμόσφαιρα (Ζάνης, 2014; European Environment Agency, 2021a). Αναφορικά με τις φυσικές πηγές θειούχων ενώσεων που συνεισφέρουν στη δημιουργία διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα σε αυτές περιλαμβάνονται οι εκρήξεις

ηφαιστείων, οι θερμές πηγές, η απομάκρυνση σταγονιδίων από τους ωκεανούς (Ζάνης, 2014).

Η μακροχρόνια έκθεση σε διοξείδιο του θείου συνδέεται με πρόκληση αναπνευστικών προβλημάτων, καρδιαγγειακών παθήσεων (Ζάνης, 2014; Lagzi et al., 2013), αποδυνάμωση του αμυντικού μηχανισμού των πνευμόνων (Ζάνης, 2014). Επιπρόσθετα, αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα σχετίζονται με μειωμένη ορατότητα, αυξημένη οξύτητα στις λίμνες και τα ποτάμια καθώς και πρόκληση αλλοιώσεων της βλάστησης (Ζάνης, 2014).

Οξειδία του αζώτου (NO_x)

Με τον όρο οξειδία του αζώτου αναφερόμαστε στο μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), ενώσεις που μπορούν να μετατρέπονται μέσω αντιδράσεων από τη μία μορφή στην άλλη σε σύντομο χρόνο και σχετίζονται με τη δημιουργία των περιβαλλοντικών προβλημάτων (Ζάνης, 2014; Μελάς κ.α., 2000; Μελάς, Μπάης & Μπαλής, 2015). Ειδικότερα, το NO αποτελεί έναν πρωτογενή ρύπο ενώ, και το NO₂ έναν δευτερογενή κυρίως ρύπο που σχηματίζεται μέσω χημικής αντίδρασης του NO με το O₃ υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (Ζάνης, 2014; Μελάς κ.α., 2000). Το μονοξείδιο του αζώτου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από την καύση ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα, στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στην οικιακή θέρμανση, δραστηριότητες που παράγουν την κύρια ποσότητα μονοξειδίου του αζώτου ανθρωπογενούς προέλευσης (Ζάνης, 2014).

Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου σχετίζονται με την πρόκληση αναπνευστικών προβλημάτων κυρίως σε άτομα που πάσχουν από άσθμα (Ζάνης, 2014). Το μονοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του αζώτου διαλύονται στο νερό της βροχής και σχηματίζουν διαλύματα νιτρικού οξέος (HNO₃) και νιτρώδους οξέος (HNO₂) τα οποία συμμετέχουν στη δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής (Lagzi et al., 2013). Επίσης, συμμετέχουν σε μια σειρά από φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα που σχετίζονται με την δημιουργία φωτοχημικής ρύπανσης ενώ, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία ελέγχου του τροποσφαιρικού όζοντος (Ζάνης, 2014). Επιπρόσθετα, τα οξειδία του αζώτου σχετίζονται με την πρόκληση και άλλων περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως είναι το φαινόμενο του ευτροφισμού αλλά και η μειωμένη ορατότητα (Lagzi et al., 2013).

Όζον (O₃)

Το όζον που βρίσκεται στη στρατόσφαιρα σε ποσοστό 90% λειτουργεί ως φίλτρο που εμποδίζει την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου να φτάσει στη γη. Βρίσκεται επίσης σε ποσοστό 10% στην τροπόσφαιρα όπου αποτελεί ρύπο και μάλιστα δευτερογενή ρύπο ο οποίος σχηματίζεται από χημικές αντιδράσεις ανάμεσα στο οξυγόνο (O₂), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και οξειδία του αζώτου (NO_x) με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι πρόδρομες ουσίες σχηματισμού του όζοντος VOCs και NO_x απελευθερώνονται από τα μέσα μεταφοράς, τα χημικά εργοστάσια και τα πρατήρια καυσίμων (Ζάνης, 2014). Μάλιστα, το όζον βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά τις μεταμεσημβρινές ώρες και τα θερμά διαστήματα του έτους οπότε και η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη (Μελάς κ.α., 2000).

Το όζον της τροπόσφαιρας συμμετέχει τόσο στην εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους στις πόλεις όσο και στην υποβοήθηση εκδήλωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου απορροφώντας την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γη αλλά και της όξινης βροχής καθώς οξειδώνει το SO₂ σε H₂SO₄ (Ζάνης, 2014).

Το όζον της τροπόσφαιρας επιφέρει αρνητικές επιδράσεις τόσο στον άνθρωπο όσο και στο οικοσύστημα. Όσον αφορά στον άνθρωπο, η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος συνδέεται με πρόκληση βλαβών στους πνεύμονες, ερεθισμό ή και μόλυνση του αναπνευστικού συστήματος (Ζάνης, 2014; Μελάς, Μπάης & Μπαλής, 2015). Επίσης, το όζον σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις αγροτικές καλλιέργειες και γενικότερα στη βλάστηση (Ζάνης, 2014; Lagzi et al., 2013). Ειδικότερα, το όζον επηρεάζει την ικανότητα των φυτικών οργανισμών για παραγωγή και αποθήκευση της τροφής με αποτέλεσμα να κινδυνεύουν περισσότερο από ασθένειες, έντομα και περιβαλλοντικές μεταβολές. Ως αποτέλεσμα μπορεί να παρατηρηθεί μείωση της παραγωγικότητας και της απόδοσης των γεωργικών καλλιεργειών (Lagzi et al., 2013). Τέλος, η επίδραση του όζοντος στο περιβάλλον μπορεί να παρατηρηθεί και με αλλοιώσεις στην πολιτισμική κληρονομιά (Ζάνης, 2014).

Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν πρωτογενείς ατμοσφαιρικούς ρύπους μέσω των οποίων σχηματίζονται δευτερογενείς ρύποι όπως το όζον και τα φωτοχημικά οξειδωτικά. Οι υδρογονάνθρακες απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κυρίως μέσω της χλωρίδας ενώ, οι

ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής τους συνεισφέρουν στο 15% περίπου των συνολικών εκπομπών. Ειδικότερα, η εκπομπή υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα οφείλεται στις καύσεις ορυκτών καυσίμων και στα διυλιστήρια πετρελαίου (Μελάς, κ.α., 2000). Το βενζόλιο, το οποίο αποτελεί συστατικό της βενζίνης, είναι η πλέον επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση που καταλήγει στην ατμόσφαιρα και προέρχεται από τα πρατήρια καυσίμων και τις μηχανές που λειτουργούν με βενζίνη (Ζάνης, 2014).

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι σωματίδια υγρά ή στερεά ποικίλου μεγέθους και σύστασης που έχουν την ικανότητα αιώρησης στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Ζάνης, 2014; Μελάς, κ.α., 2000; Μελάς, Μπάης & Μπαλής, 2015; Ρεμουντάκη, 2010). Σημαντικότερα από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι τα PM₁₀ τα οποία έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 10 μm και τα PM_{2,5} τα οποία έχουν αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από 2,5 μm (Μελάς, Μπάης & Μπαλής, 2015; Ρεμουντάκη, 2010). Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων αντικατοπτρίζει την πηγή απελευθέρωσής τους (Μελάς, κ.α., 2000; Ρεμουντάκη, 2010) που μπορεί να είναι η βιομηχανική δραστηριότητα, τα μέσα μεταφοράς, οι πυρκαγιές, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η γεωργική δραστηριότητα, η επιφάνεια των ωκεανών και του εδάφους, οι καύσεις (Ζάνης, 2014; Ρεμουντάκη, 2010). Η παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή και προβλήματα στην καρδιά και τους πνεύμονες με τα παιδιά, τους ηλικιωμένους και τις ευπαθείς ομάδες να επιβαρύνονται περισσότερο. Τα μικρότερου μεγέθους αιωρούμενα σωματίδια είναι περισσότερο επιβλαβή καθώς είναι περισσότερο πιθανό να εισχωρήσουν στους πνεύμονες και να προκαλέσουν βλάβες. Επιπρόσθετα, τα μικρότερα σωματίδια συνεχίζουν να βρίσκονται στην ατμόσφαιρα κάποιες ημέρες, καθώς τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν χρόνο ζωής αντιστρόφως ανάλογο του μεγέθους τους (Ζάνης, 2014).

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος ανήκει στα βαρέα μέταλλα. Απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από μεταφορικά μέσα παλιάς τεχνολογίας που κινούνται με βενζίνη που περιέχει μόλυβδο, από μεταλλουργικές διεργασίες και από καύση απορριμάτων (Ζάνης, 2014; Ρεμουντάκη, 2010). Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων μολύβδου στην ατμόσφαιρα μπορεί να επιφέρει μειωμένη πνευματική ανάπτυξη και προβλήματα στη νεφρική και αιματική λειτουργία ιδίως σε νεαρής ηλικίας άτομα (Ζάνης, 2014).

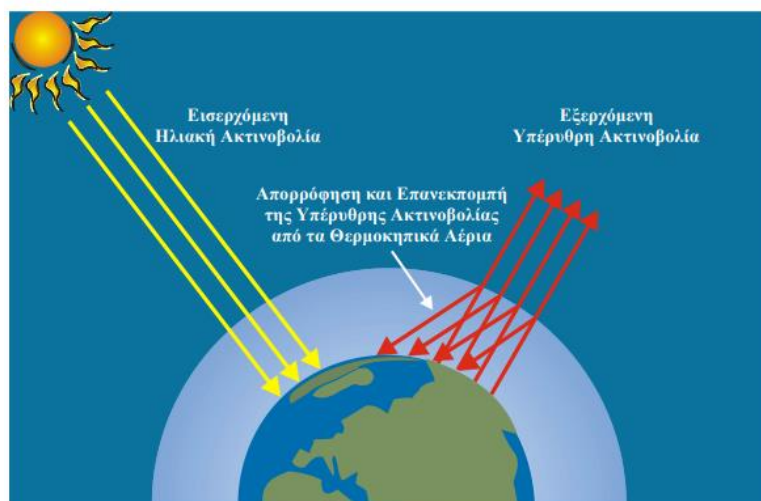
2.3 Σύγχρονα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση έκανε εντονότερη την παρουσία της μετά τη βιομηχανική επανάσταση εξαιτίας της εντατικής καύσης ορυκτών καυσίμων. Η κατάσταση αυτή βέβαια γίνεται περισσότερο επικίνδυνη καθώς ο ανθρώπινος πληθυσμός που συγκεντρώνεται στα αστικά κέντρα χρησιμοποιεί περισσότερο τη θέρμανση και τα μεταφορικά μέσα ενώ, παράλληλα η βιομηχανία αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν αυξημένες εκπομπές ρύπων οι οποίες διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο στην εμφάνιση των σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008).

2.3.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο υπεύθυνο για την εξασφάλιση σταθερής θερμοκρασίας της γης περίπου στους 15 °C η οποία είναι ευνοϊκή για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Η απουσία του φαινομένου του θερμοκηπίου θα είχε ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία της γης να είναι γύρω στους -20 °C δηλαδή 35 °C μικρότερη, θερμοκρασία ακατάλληλη για τη διατήρηση της ζωής (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007). Ο φυσικός αυτός μηχανισμός ονομάστηκε φαινόμενο του θερμοκηπίου από τον Γάλλο μαθηματικό Fourier το 1822 εξαιτίας της ομοιότητάς του με τη λειτουργία του γεωργικού θερμοκηπίου (Ζάνης, 2014; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008) και μελετήθηκε εκτενώς από τον Σβάντε Αρρένιους το 1896 (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Τα θερμοκηπικά αέρια της ατμόσφαιρας στα οποία ανήκει το διοξείδιο του άνθρακα, οι χλωροφθοράνθρακες, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου, το όζον και άλλα αέρια, επιτρέπουν στην ακτινοβολία του ήλιου να φτάσει στη γη και επιπλέον είναι υπεύθυνα για την απορρόφηση και την επανεκπομπή προς το έδαφος μέρους από την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η γη (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007). Ειδικότερα, η εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται κατά ένα μέρος από την ατμόσφαιρα και τη γη ενώ, ένα ποσό ακτινοβολίας διαφεύγει στο διάστημα. Η απορροφώμενη από τη γη ακτινοβολία προκαλεί τη θέρμανση της γης και ακολούθως την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από αυτή. Η υπέρυθρη ακτινοβολία στο μεγαλύτερο μέρος της απορροφάται από τα θερμοκηπικά αέρια δηλαδή, παγιδεύεται από αυτά στην ατμόσφαιρα της γης και έτσι επιτυγχάνεται η αύξηση της θερμοκρασίας της (βλέπε Εικόνα 2.2). Τα θερμοκηπικά αέρια εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία σε όλες τις κατευθύνσεις με το 90% να κατευθύνεται στο έδαφος, προκαλώντας την περαιτέρω θέρμανσή του και την ενισχυμένη εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας μια διαδικασία που

επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά. Με τον τρόπο αυτό η γη αποκτά την ευνοϊκή για τη ζωή θερμοκρασία (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008).



Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου (Ζιώμας, 2007 σ. 51).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου λοιπόν παρόλο που διαδραματίζει καίριο ρόλο για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη καθίσταται παράλληλα απειλητικό και επιβλαβές λόγω της ενίσχυσης του φαινομένου ως επακόλουθο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007). Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες της σύγχρονης εποχής όπως η βιομηχανία και οι μεταφορές έχουν αυξήσει τις εκπομπές αέριων ρύπων συμπεριλαμβανομένων των θερμοκηπικών αερίων (European Environment Agency, 2021b; Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007). Ως αποτέλεσμα η υπέρυθη ακτινοβολία παγιδεύεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τα θερμοκηπικά αέρια, το φαινόμενο του θερμοκηπίου ενισχύεται και η θερμοκρασία της γης αυξάνεται (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007).

Η αλλαγή των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων, επηρεάζει το ενεργειακό ισοζύγιο με αποτέλεσμα να προκαλείται μεταβολή στη θερμοκρασία και αλλαγή του κλίματος. Οι υδρατμοί που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και απορροφούν ένα μεγάλο μέρος από την υπέρυθη ακτινοβολία συνεισφέροντας στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, επηρεάζονται λιγότερο από τις δραστηριότητες του ανθρώπου (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή οι συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, του υποξειδίου του αζώτου και των αλογονανθράκων καταγράφουν αύξηση (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Το διοξείδιο του άνθρακα συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ποσοστό 50-60% με τη συγκέντρωσή του να αυξάνεται κατά 3-4% ανά δεκαετία και 0,4-0,5% ανά έτος (Ζιώμας, 2007) ενώ, ο χρόνος ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι τα 100 χρόνια (Ζάνης, 2014). Αν και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας των προηγούμενων 400.000 ετών διατηρούνταν σε σταθερά επίπεδα συγκέντρωσης στα 280 ppm πλέον υπερβαίνει τα 360 ppm (Ζάνης, 2014). Η αύξηση των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα της αυξημένης καύσης ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, τις μεταφορές και τη θέρμανση κτιρίων (Ζάνης, 2014; Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Παράλληλα, η μεγάλη έκταση καταστροφή των τροπικών δασών επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης μειώνοντας έτσι την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα συνεισφέροντας στην αυξημένη παρουσία του στον αέρα (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008).

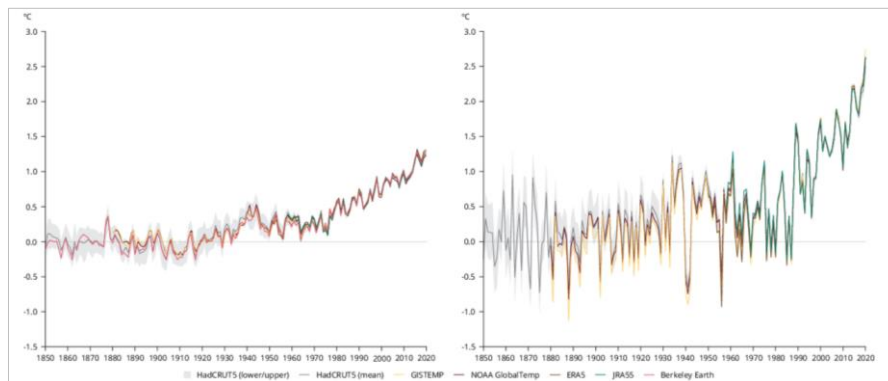
Οι αλογονάνθρακες στους οποίους περιλαμβάνονται οι χλωροφθοράνθρακες με ευρεία χρήση ως ψυκτικά υγρά σε ψυγεία και κλιματιστικά αλλά και στη βιομηχανία, πριν να διαπιστωθεί η βλαπτική τους επίδραση στο όζον της στρατόσφαιρας, συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ποσοστό 15-25% (Ζιώμας, 2007). Ο χρόνος ζωής των χλωροφθορανθράκων στην ατμόσφαιρα είναι 45-100 χρόνια. Ωστόσο, η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα καταγράφει μείωση λόγω της απαγόρευσης χρήσης τους σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Montreal προκειμένου να περιοριστεί η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος. Σε αντικατάσταση των χλωροφθορανθράκων προτάθηκε η χρήση των υδροφθορανθράκων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Το μεθάνιο συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ποσοστό 12-20% με τη συγκέντρωσή του να αυξάνεται κατά 1-2% ανά έτος (Ζιώμας, 2007) ενώ, ο χρόνος ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι τα 8,4 χρόνια (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Η συγκέντρωση του μεθανίου της ατμόσφαιρας είναι στα 1700 ppb ενώ, στο παρελθόν ήταν στα 750 ppb (Ζάνης, 2014). Η αύξηση της συγκέντρωσης του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα δραστηριοτήτων όπως η κτηνοτροφία, η γεωργία καθώς και η εξόρυξη φυσικού αερίου (Ζάνης, 2014; Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

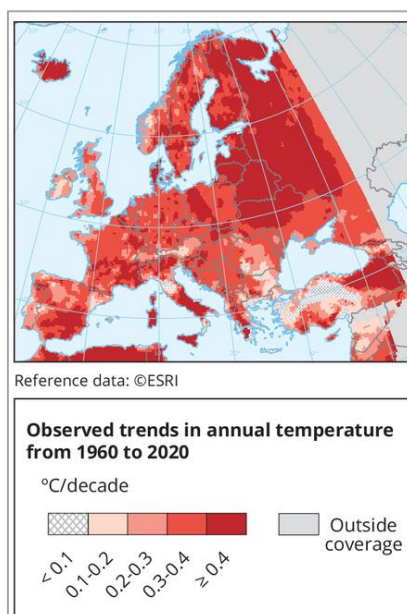
Το υποξείδιο του αζώτου συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε ποσοστό 5% με τη συγκέντρωσή του να αυξάνεται κατά 0,25-0,4% ανά έτος (Ζιώμας, 2007) ενώ, η παραμονή

του στην ατμόσφαιρα διαρκεί 114 χρόνια (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Η αύξηση της συγκέντρωσης του υποξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα δραστηριοτήτων όπως η χρήση λιπασμάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων και οι διεργασίες που συντελούνται στο έδαφος και το νερό από βακτήρια (Ζιώμας, 2007; Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Ο Arrhenious από το 1896 προβλέπει ότι θα υπάρξουν επιπτώσεις στο κλίμα λόγω των διαταραχών των θερμοκηπικών αερίων (Ζάνης, 2014). Τα θερμοκηπικά αέρια ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλώντας σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας της γης, με τις θερμοκρασίες που καταγράφονται σε παγκόσμιο επίπεδο να καταδεικνύουν το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεων που αυτή επιφέρει (European Union, 2022; European Environment Agency, 2021b). Η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί τουλάχιστον κατά 1 °C συγκριτικά με τη θερμοκρασία που επικρατούσε στη γη κατά την προβιομηχανική εποχή (European Union, 2022). Ειδικότερα, με την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία στον πλανήτη αυξάνεται κατά 0,2°C ανά δεκαετία από το 1970 ενώ, την περίοδο 2015-2020 σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες από κάθε άλλη φορά. Σε παγκόσμιο επίπεδο η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης τη δεκαετία 2011 έως 2020 ήταν 0,95 έως 1,20°C υψηλότερη σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία κατά την προβιομηχανική περίοδο, καθιστώντας την τη θερμότερη δεκαετία. Η αύξηση της θερμοκρασίας καταγράφεται με ταχύτερο ρυθμό στην Ευρώπη σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο (βλέπε Εικόνα 2.3 και Εικόνα 2.4). Μάλιστα, η μέση ετήσια θερμοκρασία στο ευρωπαϊκό έδαφος την τελευταία δεκαετία σημείωσε αύξηση 1,94 έως 2,01 °C συγκριτικά με την προβιομηχανική περίοδο (European Environment Agency, 2021b).



Εικόνα 2.3 Παγκόσμιες μέσες ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της γης σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή (αριστερά). Ευρωπαϊκές μέσες ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της γης σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή (δεξιά) (European Environment Agency, 2021b).



Εικόνα 2.4 Παρατηρούμενη ετήσια μέση τάση της θερμοκρασίας από το 1960 έως το 2020 στην Ευρώπη (European Environment Agency, 2021b).

Η κλιματική αλλαγή σχετιζόμενη άμεσα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ήδη παρούσα σε παγκόσμιο επίπεδο με τις επιπτώσεις της να πλήττουν το περιβάλλον, τους ζωντανούς οργανισμούς, την υγεία και την κοινωνία (Ζάνης, 2014). Μάλιστα, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής προβλέπεται να εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα δημιουργώντας εντονότερα προβλήματα (European Union, 2022). Στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής συγκαταλέγεται η μείωση της βιοποικιλότητας, η εξαφάνιση ειδών, η καταστροφή παράκτιων περιοχών λόγω των πλημμύρων από το λιώσιμο των πάγων και την

ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, η αύξηση των θανάτων λόγω καύσωνα, η μείωση του διαθέσιμου νερού αλλά και των τροφίμων (European Union, 2022; Ζάνης, 2014).

Η ανάγκη για πρόληψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής οδήγησε στην υπογραφή της Συμφωνίας του Παρισιού (2015), μια συμφωνία στο πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με την οποία απαιτείται περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους 2 °C σε σχέση με τη θερμοκρασία της προβιομηχανικής εποχής και μάλιστα επιδίωξη του περιορισμού της αύξησης στους 1,5 °C. Σε περίπτωση μη επίτευξης δραστηρικής μείωσης της εκπομπής θερμοκηπικών αερίων θα υπάρξει υπέρβαση του ορίου των 2 °C νωρίτερα από το 2050 (European Environment Agency, 2021b). Σύμφωνα με τους επιστήμονες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την κλιματική αλλαγή, αύξηση στη θερμοκρασία της γης κατά 1,5 °C θα επιφέρει σοβαρά ίσως και μη αναστρέψιμα προβλήματα στο περιβάλλον (European Union, 2022).

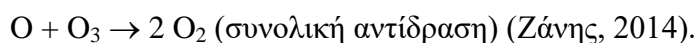
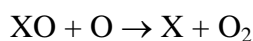
2.3.2 Εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος

Το όζον στη στρατόσφαιρα, και συγκεκριμένα σε ύψος 15 έως 35 χιλιόμετρα από το μέσο επίπεδο της θάλασσας, σχηματίζει μια στιβάδα που λειτουργεί ως φίλτρο προστασίας του πλανήτη έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας (Ζάνης, 2014). Η στιβάδα του όζοντος δεν επιτρέπει στην υπεριώδη ακτινοβολία να φτάσει στη γη εξασφαλίζοντας έτσι τις κατάλληλες συνθήκες για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας (Βώκου, 2004; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Ειδικότερα, η στιβάδα του όζοντος είναι υπεύθυνη για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας μήκους κύματος 200 nm έως 300 nm η οποία έχει βλαπτικές επιδράσεις στους έμβιους οργανισμούς (Ζάνης, 2014) καθώς προκαλεί διάσπαση των χημικών δεσμών οι οποίοι σχηματίζουν τα οργανικά μεγαλομόρια (Βώκου, 2004). Το πάχος της στιβάδας του όζοντος δεν είναι σταθερό αλλά σχετίζεται με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή και παράγοντες όπως ο άνεμος και οι ηλιακές μεταβολές (Ζάνης, 2014).

Το όζον στη στρατόσφαιρα ακολουθεί έναν κύκλο παραγωγής και διάσπασης μέσω συγκεκριμένων αντιδράσεων όπως υποστηρίχθηκε από τον Sydney Chapman το 1930. Πιο αναλυτικά, το όζον παράγεται όταν το ατομικό οξυγόνο (O) και το μοριακό οξυγόνο (O₂) της ατμόσφαιρας ενώνονται παρουσία μιας ουσίας M όπως είναι το N₂ σύμφωνα με την αντίδραση $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ για $\lambda < 242 \text{ nm}$ (1). Το ατομικό οξυγόνο σχηματίζεται καθώς το μοριακό οξυγόνο διασπάται παρουσία φωτός σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση $O_2 + h\nu \rightarrow O + O$ για $\lambda < 242 \text{ nm}$. Το όζον διασπάται παράγοντας ατομικό και

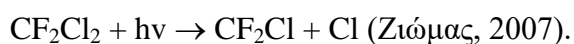
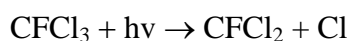
μοριακό οξυγόνο σύμφωνα με την αντίδραση $O_3 + h\nu \rightarrow O + O_2$, για $\lambda < 315$ nm. Το ατομικό οξυγόνο όντας σε διεγερμένη κατάσταση αντιδρά κατευθείαν με μοριακό οξυγόνο παράγοντας και πάλι όζον κατά την αντίδραση (1). Έπειτα, ακολουθεί η πολύ αργή αντίδραση $O + O_3 \rightarrow 2O_2$ η οποία δεν συνεισφέρει στη διάσπαση του όζοντος (Ζάνης, 2014).

Επιπρόσθετα, η διάσπαση του όζοντος πραγματοποιείται και με έναν διαφορετικό μηχανισμό αντιδράσεων. Ειδικότερα, το όζον και το ατομικό οξυγόνο μπορούν να αντιδράσουν με ουσίες της ατμόσφαιρας όπως είναι το άζωτο, το υδρογόνο, το υδροξύλιο και το χλώριο. Ο κύκλος αντιδράσεων είναι:

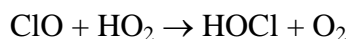
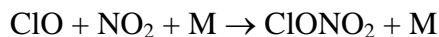
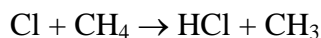


Μολονότι η διάσπαση και ο σχηματισμός του όζοντος βρίσκονται σε μια κατάσταση ισορροπίας, αν και η συγκέντρωση του όζοντος καταγράφει περιοδικές μεταβολές, στα μέσα της δεκαετίας του 1970 παρατηρείται μια διαταραχή στην ισορροπία αυτή ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τη δεκαετία του 1980 επέρχεται μια τεράστια μείωση στην ολική στήλη του όζοντος στη στρατόσφαιρα πάνω από την Ανταρκτική. Το φαινόμενο αυτό περιγράφηκε με τον όρο «τρύπα του όζοντος» λόγω του μεγέθους του προβλήματος. Η ίδια κατάσταση σε μικρότερη όμως ένταση σημειώθηκε στη στρατόσφαιρα πάνω από την Αρκτική και στα δύο ημισφαίρια στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη (Ζάνης, 2014).

Ο βασικός παράγοντας που συνετέλεσε στη δημιουργία της τρύπας του όζοντος ήταν η μεγάλη ποσότητα από χλωροφθοράνθρακες (freon) που χρησιμοποιούνταν ως ψυκτικά υγρά και ως προωθητικά αέρια σε σπρέι (Βώκου, 2004; NASA Earth Observatory, 2011). Οι χλωροφθοράνθρακες όταν βρίσκονται χαμηλά στην τροπόσφαιρα είναι ιδιαίτερα αδρανείς οπότε και μπορούν να φτάσουν στη στρατόσφαιρα όπου και φωτοδιασπώνται παρουσία της υπεριώδους ακτινοβολίας (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007). Οι χλωροφθοράνθρακες $CFCl_3$ (freon-11), CF_2Cl_2 (freon-12) υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας στα 180-210 nm σχηματίζουν άτομα χλωρίου (Cl) μέσω των αντιδράσεων:

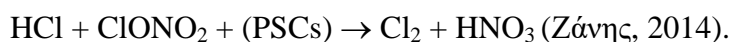


Στη συνέχεια το χλώριο αντιδρά με CH_4 , NO_2 και HO_2 παράγοντας αντίστοιχα HCl , ClONO_2 και HOCl μέσω των αντιδράσεων:

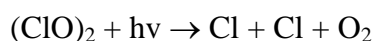
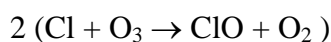
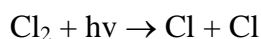


Οι ενώσεις αυτές εξαιτίας του μεγάλου χρόνου ζωής που έχουν μπορούν να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις στους πόλους και χαρακτηρίζονται ως ενώσεις-δεξαμενές ατόμων χλωρίου (Ζάνης, 2014).

Στη στρατόσφαιρα της Ανταρκτικής στο νότιο πόλο όπου επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ευνοείται ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων και πολικών στρατοσφαιρικών νεφών (Polar Stratospheric Clouds – PSCs) στην επιφάνεια των οποίων λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις μεταξύ των ενώσεων δεξαμενών, παράγοντας μόρια χλωρίου. Πιο συγκεκριμένα, η αντίδραση πραγματοποιείται ως εξής:



Ακολουθεί τόσο η φωτοδιάσπαση του μορίου του χλωρίου με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την εμφάνιση ηλιακού φωτός την άνοιξη όσο και η έναρξη ενός καταλυτικού κύκλου καταστροφής όζοντος.



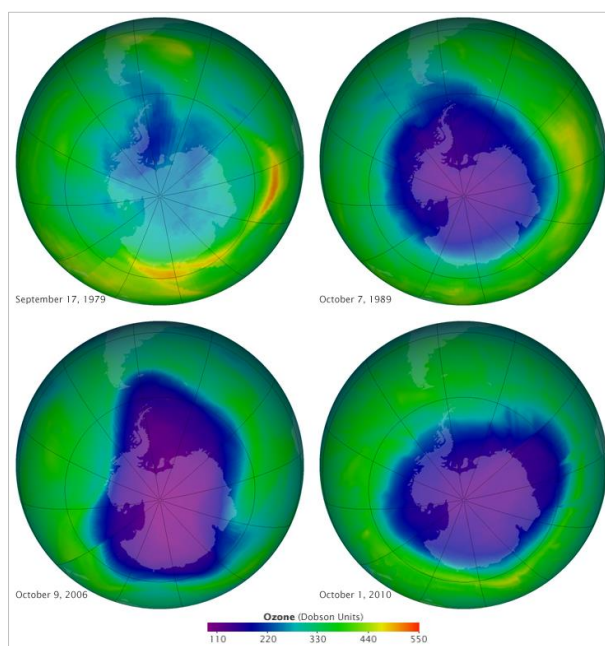
συνολικά: $2\text{O}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{Cl} + 3\text{O}_2$ (Ζάνης, 2014; Ζιώμας, 2007).

Με τον ίδιο μηχανισμό δρουν και άτομα βρωμίου (Br) προκαλώντας καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος (Ζιώμας, 2007).

Στη στρατόσφαιρα της Αρκτικής επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με ό,τι συμβαίνει στην Ανταρκτική καθιστώντας λιγότερο πιθανό τον σχηματισμό πολικών

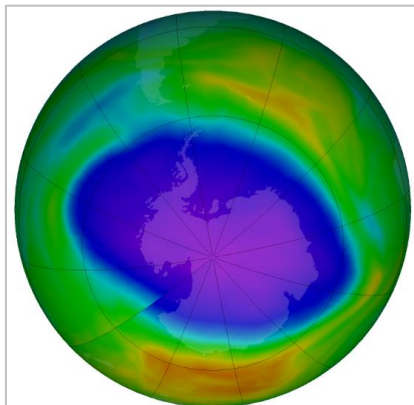
στρατοσφαιρικών νεφών τα οποία καταλύουν τις αντιδράσεις καταστροφής του όζοντος. Για τον λόγο αυτό η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα της Αρκτικής είναι μικρότερη σε σχέση με τη στρατόσφαιρα της Ανταρκτικής. Όσον αφορά στην εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη αυτή οφείλεται τόσο στη μετακίνηση αερίων μαζών από τους πόλους μετά την κατάρρευση των πολικών στροβίλων όσο και στη μετακίνηση αερίων μαζών με χαμηλά επίπεδα όζοντος από την τροπική ζώνη (Ζάνης, 2014).

Το επίπεδο όζοντος της Ανταρκτικής το 1979 οπότε και μετρήθηκε για πρώτη φορά μέσω δορυφόρου ήταν 194 μονάδες Dobson ενώ, το 1989 που τέθηκε σε ισχύ το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, μειώθηκε στις 108 μονάδες Dobson. Το 2006 το επίπεδο όζοντος φτάνει τις 82 μονάδες Dobson ενώ, το 2010 αυξάνεται στις 118 μονάδες Dobson (βλέπε Εικόνα 2.5) (NASA Earth Observatory, 2011).



Εικόνα 2.5 Η τρύπα του όζοντος στην πορεία των ετών 1979, 1989, 2006, 2010 (NASA Earth Observatory, 2011).

Η τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής το 2021 είναι η 13η μεγαλύτερη από το 1979 και ενώ, είναι πιο μεγάλη από τον μέσο όρο, είναι μικρότερη από το μέγεθος που είχε στο τέλος της δεκαετίας του 1990 και στην αρχή της δεκαετίας του 2000 (βλέπε Εικόνα 2.6) (NASA Earth Observatory, 2021c).



**Εικόνα 2.6 Η τρύπα του όζοντος της Ανταρκτικής το 2021
(NASA Earth Observatory, 2021c).**

Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος έχει βλαπτικές επιδράσεις στο περιβάλλον δηλαδή στα φυτά, τα ζώα αλλά και στον άνθρωπο. Προκαλεί καρκίνο και γήρανση στο δέρμα, καταρράκτη στα μάτια, μείωση της άμυνας του οργανισμού (Ζάνης, 2014; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Βέβαια, αν και η μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα αποτελεί πρόβλημα με δυσμενείς επιδράσεις για τη γη, κοντά στην επιφάνειά της στην τροπόσφαιρα το όζον αποτελεί ρύπο συμμετέχοντας στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους (Βώκου, 2004; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008).

Οι επιπτώσεις που επιφέρει η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος έκρινε αναγκαία τη λήψη μέτρων από τις κυβερνήσεις βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών οπότε και υιοθετήθηκε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987 το οποίο υπαγόρευε περιορισμό της παραγωγής χλωροφθορανθράκων και αντικατάστασής τους από ουσίες φιλικές προς το όζον (Βώκου, 2004; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008; NASA Earth Observatory, 2011). Το 1994 παρατηρείται η πρώτη μείωση χλωροφθορανθράκων χαμηλά στην τροπόσφαιρα ενώ, για περαιτέρω σημαντική βελτίωση της κατάστασης απαιτείται η πάροδος μερικών δεκαετιών (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008).

2.3.3 Όξινη βροχή

Το νερό της βροχής υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι ελαφρώς όξινο με pH 5,6-6,5 εξαιτίας της παρουσίας στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του άνθρακα. Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, το pH της βροχής έχει μειωθεί στο 4-4,6 καθιστώντας την περισσότερο όξινη. Με τον όρο όξινη βροχή ή σωστότερα όξινη εναπόθεση νοούνται τα κατακρημνίσματα που περιέχουν

διαλυμένο θειϊκό οξύ (H_2SO_4) και νιτρικό οξύ (HNO_3) επιφέροντας βλαπτικές επιδράσεις σε φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και σε κτιριακές κατασκευές (Ζάνης, 2014).

Ο σχηματισμός της όξινης βροχής δηλαδή, κατακρημνισμάτων με μεγαλύτερη οξύτητα, είναι αποτέλεσμα της απελευθέρωσης στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου (Ζάνης, 2014; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται από τις καύσεις ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και τα οξείδια του αζώτου βρίσκονται στα καυσαέρια των μέσων μεταφοράς (Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις με το οξυγόνο και τους υδρατμούς οπότε διαλυόμενα στο νερό ή γενικότερα στα κατακρημνίσματα μετατρέπονται σε θειϊκό οξύ και νιτρικό οξύ αντίστοιχα αυξάνοντας την οξύτητά τους. Μάλιστα τα οξείδια αυτά μετακινούνται μέσω του ανέμου και σε άλλες περιοχές που μπορεί να απέχουν χιλιάδες χιλιόμετρα από αυτές στις οποίες αρχικά απελευθερώθηκαν. Για τον λόγο αυτό τα αρνητικά αποτελέσματα της όξινης βροχής γίνονται ορατά σε διαφορετικές χώρες από αυτές στις οποίες έγινε η εκπομπή των αέριων ρύπων (Ζάνης, 2014; Κουρούτος, Μαντζάρα & Σκούλλος, 2008). Ειδικότερα, καθώς η μετατροπή του διοξειδίου του θείου σε θειϊκό οξύ πραγματοποιείται σε μερικές μέρες ενώ, η μετατροπή των οξειδίων του αζώτου σε νιτρικό οξύ πραγματοποιείται σε μικρότερο χρόνο, οι αρνητικές επιδράσεις της όξινης βροχής που σχετίζονται με το διοξείδιο του θείου είναι μεγαλύτερης έκτασης (Ζιώμας, 2007).

Η όξινη βροχή επιδρά αρνητικά στα οικοσυστήματα αλλά και στις ανθρώπινες κατασκευές. Η μακροχρόνια επίδραση της όξινης βροχής στα δέντρα επιφέρει διαταραχές στον μεταβολισμό και βλάβες στο ριζικό τους σύστημα. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και νερού. Επίσης, η όξινη βροχή προκαλεί υποβάθμιση του εδάφους καθώς οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί θανατώνονται, θρεπτικά άλατα διαλύονται και απομακρύνονται με τη βροχή και απελευθερώνονται βαρέα μέταλλα που έχουν τοξική δράση στους φυτικούς οργανισμούς. Η όξινη βροχή επηρεάζει επίσης δυσμενώς τους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς των υδάτινων οικοσυστημάτων (Ζάνης, 2014).

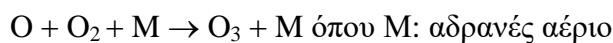
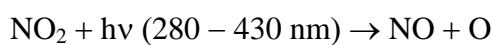
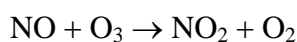
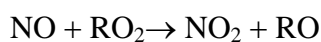
Η όξινη βροχή είναι υπεύθυνη και για την καταστροφή αγαλμάτων, μαρμάρινων μνημείων και κτιρίων καθώς το θειϊκό της οξύ (H_2SO_4) αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) που περιέχεται στις κατασκευές αυτές σχηματίζοντας θειϊκό ασβέστιο (γύψο) ($CaSO_4$). Η επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στον γύψο προκαλεί τη διόγκωσή του και τελικά τη διάβρωση των υλικών (Ζάνης, 2014).

Για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της όξινης βροχής απαιτείται περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου ο οποίος μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αποθείωσης στα καυσαέρια που απελευθερώνονται από τα εργοστάσια καθώς και με τοποθέτηση καταλύτη καυσαερίων στα αυτοκίνητα (Ζάνης, 2014).

2.3.4 Φωτοχημικό νέφος

Το φωτοχημικό νέφος που εμφανίστηκε στο Λος Άντζελες τη δεκαετία του 1960, είναι αποτέλεσμα μιας σειράς από χημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν πτητικοί υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου, που παράγονται από τη βιομηχανική δραστηριότητα και τη χρήση του αυτοκινήτου, παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Το φωτοχημικό νέφος περιλαμβάνει το όζον (O_3), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το νιτρικό οξύ (HNO_3) και το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN). Οι αντιδράσεις που είναι υπεύθυνες για τον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους επιταχύνονται από την ηλιακή ακτινοβολία που είναι εντονότερη όταν η θερμοκρασία είναι αυξημένη ενώ, επιβραδύνονται όταν η θερμοκρασία είναι μειωμένη. Η παραγωγή όζοντος λοιπόν είναι εντονότερη τις ημέρες που υπάρχει ηλιοφάνεια και τους θερμούς μήνες του χρόνου (Ζάνης, 2014).

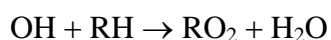
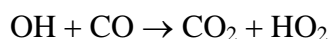
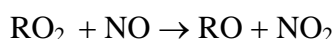
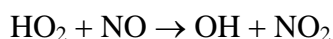
Στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται διάσπαση των υδρογονανθράκων σε υπεροξικές ρίζες (RO_2) οι οποίες αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου οπότε παράγεται όζον, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Όπως προκύπτει από τις αντιδράσεις, η παραγωγή όζοντος προϋποθέτει τη φωτοδιάσπαση του NO_2 παρουσία ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, μέσω της αντίδρασης NO και O_3 προς σχηματισμό NO_2 γίνεται αντιληπτό ότι η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης NO σε μια περιοχή προκαλεί χαμηλή συγκέντρωση O_3 (Ζιώμας, 2007) καθώς πραγματοποιείται καταστροφή του παραγόμενου όζοντος με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται συσσώρευσή του στην ατμόσφαιρα. Οι προηγούμενες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται με μεγάλη

ταχύτητα δημιουργούν μια κατάσταση ισορροπίας όσον αφορά στη συγκέντρωση του όζοντος (Ζάνης, 2014).

Η εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους και η αύξηση της συγκέντρωσης όζοντος στην ατμόσφαιρα πραγματοποιούνται εξαιτίας αντιδράσεων κατά τις οποίες η ύδρο-υπερόξη ρίζα (HO_2) και οι αλκύλο-υπερόξη ρίζες RO_2 , που σχηματίζονται όταν οξειδώνονται το CO και οι υδρογονάνθρακες (RH), αντιδρούν με NO για την παραγωγή NO_2 (Ζάνης, 2014).



Η ύπαρξη των ριζών είναι υπεύθυνη για τη μετατόπιση της χημικής ισορροπίας που αφορά στη συγκέντρωση του όζοντος προκαλώντας αύξηση της συγκέντρωσης αυτής (Ζάνης, 2014).

Κεφάλαιο 3. Διδακτική πρόταση για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός τεσσάρων προτεινόμενων διδακτικών σεναρίων που αφορούν στη διδασκαλία της ενότητας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας» στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM.

Τα ερευνητικά ερωτήματα διατυπώνονται ως εξής:

1. Δύναται η εκπαίδευση STEM να αξιοποιηθεί στη διδασκαλία της ενότητας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας» του μαθήματος της Βιολογίας της Γ' Λυκείου;
2. Εμφανίζονται θετικά μαθησιακά αποτελέσματα από την εφαρμογή των προτεινόμενων σχεδίων μαθήματος στη διδασκαλία της ενότητας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας»;

3.1 Σημασία διδασκαλίας της ρύπανσης της ατμόσφαιρας

Έντονο είναι το ενδιαφέρον του σύγχρονου ανθρώπου αναφορικά με τα περιβαλλοντικά ζητήματα καθώς οι ανθρώπινες δραστηριότητες επιφέρουν ολοένα και περισσότερο αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ο προβληματισμός για τα ζητήματα αυτά αφορά όλους, συμπεριλαμβανομένων μαθητών και εκπαιδευτικών, με την αντίστοιχη πληροφόρηση να παρέχεται κυρίως από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και από άτυπες πηγές μάθησης. Οι μαθητές και μελλοντικοί πολίτες λοιπόν θα πρέπει να οικοδομήσουν τις απαραίτητες γνώσεις προκειμένου να επιτύχουν την κατανόηση των περιβαλλοντικών φαινομένων καθώς και τον εντοπισμό των αιτιών που τα προκαλούν, των επιπτώσεων που επιφέρουν στον πλανήτη και των τρόπων αντιμετώπισής τους. Η διδασκαλία των ζητημάτων που αφορούν στη ρύπανση του περιβάλλοντος συνδέεται με ενίσχυση των δεξιοτήτων επίλυσης προβλήματος και λήψης αποφάσεων από μέρους των μαθητών και παράλληλα με απόδοση ενός περισσότερο δημοφιλούς και επίκαιρου χαρακτήρα στα μαθήματα Φυσικών Επιστημών. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι παρά το μεγαλύτερο ενδιαφέρον των μαθητών για θέματα που αφορούν στο περιβάλλον σε σχέση με άλλα μαθήματα του αναλυτικού προγράμματος, φαίνεται να έχουν αναπτύξει εναλλακτικές ιδέες για τα θέματα αυτά οι οποίες δεν αντιστοιχούν στις ορθές επιστημονικές θέσεις (Χρηστίδου, 2001).

Στους λόγους που μπορεί να δυσκολεύουν τους μαθητές να αντιληφθούν τα σύνθετα περιβαλλοντικά προβλήματα συγκαταλέγεται η αφηρημένη και δυσνόητη φύση των εννοιών που χρησιμοποιούνται. Οι μαθητές καλούνται να μάθουν μέσω δευτερευουσών πηγών καθώς δεν μπορούν να έχουν προσωπική εμπειρία με τα πλανητικού μεγέθους περιβαλλοντικά προβλήματα. Επιπλέον, οι μαθητές πριν ακόμη από τη φοίτησή τους στο σχολείο αναπτύσσουν εναλλακτικές αντιλήψεις για τα περιβαλλοντικά φαινόμενα, λόγω ελλιπούς πληροφόρησης από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης ή από άλλες πηγές, οι οποίες έχουν την τάση να διατηρούνται. Μάλιστα, αρκετοί εκπαιδευτικοί χωρίς ακριβείς γνώσεις σχετικά με τα περιβαλλοντικά φαινόμενα δυσκολεύονται να βοηθήσουν τους μαθητές να απομακρυνθούν από τις εναλλακτικές ιδέες που έχουν διαμορφώσει. Επίσης, μπορεί να μην εφαρμόζουν την κατάλληλη διδακτική μεθοδολογία η οποία θα μπορούσε να αξιοποιεί τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών με εποικοδομητικό τρόπο. Ένας ακόμη λόγος που δυσκολεύει τους μαθητές να κατανοήσουν τα σύνθετα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι ότι οι ίδιοι παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία ή διάφορες ουσίες, παίζουν ρόλο σε διαφορετικά περιβαλλοντικά προβλήματα όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, οδηγώντας τους έτσι σε παρανοήσεις σχετικά με τα φαινόμενα αυτά. Μια ακόμη δυσκολία για την κατανόηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων είναι η ύπαρξη αντικρουόμενων επιστημονικών απόψεων αναφορικά με τον μηχανισμό πρόκλησής τους αλλά και τις επιπτώσεις τους στον πλανήτη και τους οργανισμούς (Χρηστίδου, 2001).

3.2 Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών

Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών ή διαφορετικά η πρακτικο-βιωματική τους γνώση είναι το τρίτο σώμα γνώσης που υπεισέρχεται στο εγχείρημα διδασκαλίας των μαθημάτων των Φυσικών Επιστημών. Τα δύο άλλα σώματα γνώσης που υπεισέρχονται στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών είναι η φυσικο-επιστημονική γνώση και η σχολική εκδοχή της φυσικο-επιστημονικής γνώσης. Η πρακτικο-βιωματική γνώση έχει τη βάση της στην εμπειρία που αποκτούν τα παιδιά καθώς λειτουργούν στην καθημερινή τους ζωή (Κουλαϊδής, 2001).

Πιο συγκεκριμένα, οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών δηλαδή, οι ιδέες που οι μαθητές έχουν διαμορφώσει για τον φυσικό κόσμο πριν ακόμη φοιτήσουν στο σχολείο και που δεν συμφωνούν με τις επιστημονικές, αποτελούν εμπόδιο για τη διδασκαλία καθώς δυσκολεύουν την οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης. Ειδικότερα, οι εναλλακτικές ιδέες αποτελούν

γνωσιακές κατασκευές οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα ερμηνείας των φυσικών φαινομένων από μέρους των μαθητών καθώς αυτοί αλληλεπιδρούν με το φυσικό και το κοινωνικό περιβάλλον τους. Οι μαθητές δηλαδή αναπτύσσουν γνωσιακές κατασκευές μέσω των οποίων μπορούν να εξηγήσουν τον κόσμο που τους περιβάλλει με έναν τρόπο που για τους ίδιους έχει νόημα (Χαλκιά, 2014; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001α, β). Ανάμεσα στα κυριότερα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών ιδεών περιλαμβάνεται η παγκοσμιότητά τους καθώς μαθητές από διαφορετικά περιβάλλοντα και ανεξαρτήτως φύλου και ηλικίας αναπτύσσουν παρόμοιες εναλλακτικές ιδέες. Επιπλέον, οι εναλλακτικές ιδέες έχουν ομοιότητες με ιδέες της επιστήμης που ήταν αποδεκτές σε προγενέστερες χρονικές περιόδους. Ακόμη, οι εναλλακτικές ιδέες είναι βιωματικές, βασίζονται δηλαδή στην αισθητηριακή εμπειρία των ατόμων αλλά και υποσυνείδητες καθιστώντας αναγκαίο από πλευράς των εκπαιδευτικών να προσπαθήσουν να τις αναδείξουν (Χαλκιά, 2014). Τέλος, οι εναλλακτικές ιδέες είναι ανθεκτικές και αντιστέκονται σε προσπάθειες αλλαγής τους ιδιαίτερα μέσω του παραδοσιακού τρόπου διδασκαλίας (Σκουμιός, 2018; Χαλκιά, 2014; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001α, β).

3.3 Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την ατμοσφαιρική ρύπανση

Αρκετές είναι οι εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν αναπτύξει οι μαθητές για τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου οι μαθητές μικρής κυρίως ηλικίας θεωρούν ότι οι χλωροφθοράνθρακες και το τροποσφαιρικό όζον αποτελούν θερμοκηπικά αέρια καθώς συγχέουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου με την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος. Οι μαθητές δηλαδή αυτοί θεωρούν τόσο το όζον όσο και τους χλωροφθοράνθρακες επικίνδυνες ουσίες για το περιβάλλον και υπεύθυνες για τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Μια εναλλακτική ιδέα των μαθητών για το ίδιο θέμα είναι η έμμεση συνεισφορά των χλωροφθορανθράκων στην υπερθέρμανση του πλανήτη εξαιτίας της καταστροφής του όζοντος που προκαλούν ενώ, αντίστοιχη άποψη εκφράζουν και για το διοξείδιο του άνθρακα (Χρηστίδου, 2001).

Ανάμεσα στις αιτίες πρόκλησης της υπερθέρμανσης της γης, όπως αναφέρονται από τους μαθητές, είναι η καταστροφή της στιβάδας του όζοντος καθώς έτσι μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει στη γη. Επίσης, οι μαθητές θεωρούν ότι η υπερθέρμανση της γης οφείλεται στην απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας ή γενικότερα της ηλιακής ακτινοβολίας από τα θερμοκηπικά αέρια λόγω της αδυναμίας των μαθητών ως προς τη

διάκριση των διαφορετικών ειδών ακτινοβολίας. Η εναλλακτική αυτή ιδέα των μαθητών σχετίζεται με την άποψη ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί επακόλουθο της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος (Karakaya-Cirit & Aydemir, 2021; Χρηστίδου, 2001). Επιπλέον, κάποιοι μαθητές θεωρούν ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλείται από την όξινη βροχή (Karakaya-Cirit & Aydemir, 2021).

Οι μαθητές έχουν εναλλακτικές ιδέες και για τις συνέπειες που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ειδικότερα, οι μαθητές συχνά πιστεύουν ότι εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου καταστρέφονται οι γεωργικές καλλιέργειες, αυξάνονται τα παρασιτικά φυτά, δηλητηριάζονται τα ψάρια ενώ, οι άνθρωποι προσβάλλονται από τροφικές δηλητηριάσεις. Υποστηρίζεται ακόμη από τους μαθητές ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη συνδέεται με την αυξημένη εμφάνιση περιπτώσεων καρκίνου του δέρματος. Αυτή η εναλλακτική ιδέα των μαθητών είναι αποτέλεσμα σύνδεσης της υπερθέρμανσης του πλανήτη με την αυξημένη έκθεση στον ήλιο το καλοκαίρι ή σύγχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου με την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος (Χρηστίδου, 2001). Κάποιοι μαθητές επίσης πιστεύουν ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου σχετίζεται με την πρόκληση της όξινης βροχής και της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος (Karakaya-Cirit & Aydemir, 2021).

Αναφορικά με την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, οι μαθητές θεωρούν ότι η στιβάδα αυτή προστατεύει τον πλανήτη από την πρόκληση υπερθέρμανσης λειτουργώντας ως φίλτρο για τις ακτίνες του ήλιου. Οι μαθητές δηλαδή δεν μπορούν να διακρίνουν την υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία στην πραγματικότητα παγιδεύεται από τη στιβάδα του όζοντος, από τα υπόλοιπα είδη ακτινοβολίας (Χρηστίδου, 2001). Οι μαθητές επίσης θεωρούν ότι η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος είναι ένα γενικότερο αποτέλεσμα της ρύπανσης του αέρα αναφέροντας ως υπεύθυνες ουσίες για την εξασθένηση αυτή τους χλωροφθοράνθρακες, το διοξείδιο του άνθρακα και άλλες ουσίες που απελευθερώνονται από τα εργοστάσια και τα αυτοκίνητα (Karakaya-Cirit & Aydemir, 2021; Χρηστίδου, 2001). Ανάμεσα στους μηχανισμούς που προκαλούν αυτό το περιβαλλοντικό πρόβλημα, όπως αναφέρονται από τους μαθητές, μπορεί να είναι η καύση του όζοντος από κάποιον ρύπο ή άλλη ουσία, η άσκηση μηχανικών δυνάμεων ή ακόμα και η εξαφάνιση του όζοντος. Αναφορικά με τις επιπτώσεις της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος οι μαθητές αναφέρουν την πρόκληση καρκίνου του δέρματος, το λιώσιμο των πάγων καθώς και τον κίνδυνο εξαφάνισης ζωικών και φυτικών οργανισμών ως αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης της γης. Οι αντιλήψεις των μαθητών για τις επιπτώσεις της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος καταδεικνύουν τη

σύγκριση των παιδιών για το φαινόμενο αυτό με το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Χρηστίδου, 2001).

Στις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για την όξινη βροχή περιλαμβάνεται η άποψη ότι αποτελεί ένα είδος βροχής που προκαλεί ξαφνικά καταστροφές ή ότι είναι το αποτέλεσμα αντίδρασης επιβλαβών αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα ή το διοξείδιο του άνθρακα με το νερό της βροχής. Οι μαθητές αναφέρουν επίσης ως αιτία σχηματισμού της όξινης βροχής το φαινόμενο του θερμοκηπίου, την υπερϊώδη ακτινοβολία που σχετίζεται με την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος καθώς και τα πυρηνικά απόβλητα. Επιπλέον, οι μαθητές που μπορεί να γνωρίζουν την ευθύνη του διοξειδίου του θείου για τον σχηματισμό της όξινης βροχής, αγνοούν τα προϊόντα των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα. Όσον αφορά στις συνέπειες της όξινης βροχής οι μαθητές μπορεί να γνωρίζουν το είδος των καταστροφών που προκαλούνται ωστόσο να μην γνωρίζουν τον τρόπο πρόκλησης των καταστροφών αυτών. Επιπλέον, οι μαθητές θεωρούν ότι η όξινη βροχή είναι υπεύθυνη για την πρόκληση του φαινομένου του θερμοκηπίου και της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος λόγω της αύξησης της οξύτητας του αέρα, του νερού, του εδάφους (Karakaya-Cirit & Aydemir, 2021).

3.4 Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Η διαδικασία της μάθησης στις Φυσικές Επιστήμες δεν συνιστά μια διαδικασία που αντιστοιχεί στη συσσώρευση γνώσεων από τους μαθητές όπως υπαγορεύεται από τον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας που υπήρξε κυρίαρχος κατά το παρελθόν στην εκπαίδευση (Χαλκιά, 2014; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001β). Το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας θεωρεί τον μαθητή ως «άγραφο χαρτί» ο οποίος δεν έχει καμία γνώση του φυσικού κόσμου και παθητικά αποδέχεται τη γνώση που του μεταδίδει ο εκπαιδευτικός που θεωρείται αυθεντία. Στο πλαίσιο αυτής της διδασκαλίας είναι φανερό ότι οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών δεν λαμβάνονται υπόψη αφού ουσιαστικά θεωρούνται ανύπαρκτες (Χαλκιά, 2014; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001β).

Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών σήμερα πρέπει να βασίζεται σε μαθητοκεντρικές προσεγγίσεις διδασκαλίας και μάθησης προκειμένου οι μαθητές να οικοδομήσουν γνώσεις και να αναπτύξουν δεξιότητες απαραίτητες στη σύγχρονη κοινωνία. Η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι πλέον απαραίτητο να αφορά σε όλους τους μαθητές ανεξαρτήτως του μελλοντικού τους επαγγελματικού προσανατολισμού

σε αντίθεση με την επικρατούσα κατά το παρελθόν κυρίως απόψη ότι οι φυσικές επιστήμες αφορούν μόνο εκείνους τους μαθητές που επιθυμούν να αποκτήσουν πανεπιστημιακή μόρφωση στο πεδίο της επιστήμης. Είναι δηλαδή απαραίτητο όλοι οι μαθητές να έρθουν σε επαφή με την επιστήμη στο γενικό της πλαίσιο, να εμπλακούν σε διαδικασίες ανάπτυξης της επιστημονικής σκέψης και να συνειδητοποιήσουν τη σχέση που διαμορφώνεται ανάμεσα στον επιστημονικό τομέα, τον τεχνολογικό τομέα και την κοινωνία (Τζιμογιάννης & Σιόρεντα, 2007).

Με δεδομένο ότι οι μαθητές διαθέτουν εναλλακτικές ιδέες, απαραίτητο βήμα στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών είναι η γνώση και ο προσδιορισμός από μέρους των εκπαιδευτικών των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών τους ώστε να αναπτύξουν τη διδακτική τους μεθοδολογία (Χαλκιά, 2014). Απαραίτητη επίσης είναι η επίτευξη επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαφορετικών πλαισίων γνώσης δηλαδή της φυσικο-επιστημονικής γνώσης, της σχολικής εκδοχής αυτής της γνώσης και της πρακτικο-βιωματικής γνώσης των μαθητών (Κουλαϊδής, 2001; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001β). Η επίτευξη αυτής της επικοινωνίας θα επιτρέψει στα γνωστικά πλαίσια να αλληλεπιδράσουν και ακολούθως να πραγματοποιηθεί εννοιολογική αλλαγή (Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001β). Βέβαια, η διαδικασία τροποποίησης των εναλλακτικών ιδεών είναι επίπονη, σύνθετη και χρονοβόρα καθώς οι μαθητές καλούνται να αλλάξουν το θεωρητικό πλαίσιο που έχουν αναπτύξει και σχετίζεται με την αντίληψη και την ερμηνεία του φυσικού κόσμου το οποίο αποδεικνύεται λειτουργικό για τους ίδιους (Χαλκιά, 2014). Οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών λοιπόν αποτελούν μια δομή υποδοχής των καινούργιων πληροφοριών που διδάσκονται, οπότε επιδρούν στον τρόπο με τον οποίο θα επιτευχθεί η μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες (Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001α, β).

Ο εκπαιδευτικός πρέπει να είναι γνώστης των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών, να διερευνά τις αντιλήψεις αυτές, να αντιλαμβάνεται ότι το αποτέλεσμα της μάθησης επηρεάζεται από τις εναλλακτικές ιδέες και να αναπτύσσει τη διδακτική του στρατηγική με στόχο την επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής στην περίπτωση που οι προϋπάρχουσες ιδέες είναι διαφορετικές από αυτές που θα διδαχτούν (Χαλκιά, 2014; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001β). Ειδικότερα, σύμφωνα με το εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης οι μαθητές κατασκευάζουν οι ίδιοι τη γνώση με την καθοριστική συμβολή του εκπαιδευτικού, ο οποίος αρχικά προσανατολίζει τους μαθητές στο υπό συζήτηση θέμα. Ακολουθεί η ανάδειξη των ιδεών των μαθητών, η αναδόμηση αυτών, η εφαρμογή των νέων ιδεών των μαθητών στην

ερμηνεία ενός φαινομένου ή στην επεξήγηση των αποτελεσμάτων ενός πειράματος και τέλος η ανασκόπηση (Χαλκιά, 2014). Ο εκπαιδευτικός απομακρύνεται από τον παραδοσιακό του ρόλο και αναλαμβάνει ρόλο καθοδηγητικό, συμβουλευτικό, εμπνευστικό δίνοντας την ευκαιρία στους μαθητές να ανακαλύψουν οι ίδιοι τη γνώση και εξασφαλίζοντας την ύπαρξη θετικού κλίματος στον χώρο διδασκαλίας. Στην ανακαλυπτική προσέγγιση, η διδασκαλία είναι μαθητοκεντρικά προσανατολισμένη και ο εκπαιδευτικός παύει να είναι το κεντρικό πρόσωπο της διαδικασίας αυτής. Οι μαθητές οδηγούνται στην ανακάλυψη της γνώσης έχοντας στη διάθεσή τους τα απαραίτητα μέσα και υλικά από τον εκπαιδευτικό ο οποίος αξιοποιεί τις κατάλληλες στρατηγικές διδασκαλίας. Ο εκπαιδευτικός αξιοποιεί διδακτικές στρατηγικές όπως το πείραμα, τις ερωτήσεις, τη διερεύνηση, τη συζήτηση (Σκουμιάς, 2017, 2018) και οι μαθητές ενθαρρύνονται να εμπλέκονται ενεργά στην ανακάλυψη της γνώσης, να εργάζονται ομαδικά προς αυτή την κατεύθυνση και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, να αυτενεργούν, να παρατηρούν, να πειραματίζονται, να διερευνούν, να επιλύουν προβλήματα, να διατυπώνουν συμπεράσματα. Οι μαθητές προσεγγίζουν και ανακαλύπτουν τη γνώση και αναπτύσσουν δεξιότητες αξιοποιώντας διαδικασίες της επιστημονικής μεθόδου χρησιμοποιώντας τον απαραίτητο υλικοτεχνολογικό εξοπλισμό λαμβάνοντας τα κατάλληλα ερεθίσματα από τον εκπαιδευτικό (Σκουμιάς, 2017, 2018; Τζιμογιάννης & Σιόρεντα, 2007).

3.5 Αξιοποίηση του πειράματος στη διδασκαλία

Το πείραμα είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται υπό ελεγχόμενες συνθήκες προκειμένου να επιτευχθεί η ανακάλυψη ενός αποτελέσματος ή κάποιου νόμου, να εξεταστεί μια υπόθεση ή να αποδειχθεί ένας ήδη υπάρχον νόμος. Η διεξαγωγή ενός πειράματος προϋποθέτει τον προσδιορισμό των σχετιζόμενων μεταβλητών οι οποίες διατηρούνται σταθερές για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση της μεταβλητής που επιλέγεται κάθε φορά (Γεωργόπουλος & Τσαλίκη, 2006). Τα πειράματα μπορεί να έχουν τη μορφή επίδειξης οπότε υλοποιούνται από τον εκπαιδευτικό στο πλαίσιο της παραδοσιακής - μετωπικής διδασκαλίας μη επιτρέποντας στους μαθητές να εμπλακούν νοητικά ή πρακτικά ούτε να αντιληφθούν τη φύση της επιστήμης. Αντίθετα, στο πλαίσιο της ανακαλυπτικής μάθησης τα πειράματα πραγματοποιούνται από τους ίδιους τους μαθητές είτε υπό τη μορφή της καθοδηγούμενης ανακάλυψης είτε υπό τη μορφή της ελεύθερης ανακάλυψης. Στην καθοδηγούμενη ανακάλυψη οι μαθητές υλοποιούν μια πειραματική διαδικασία για την οποία έχουν στη διάθεσή τους τις απαραίτητες οδηγίες. Έχουν με τον τρόπο αυτό τη δυνατότητα εργαζόμενοι κυρίως σε ομάδες να εμπλακούν στο πρακτικό μέρος της διαδικασίας χωρίς ωστόσο να έχουν

την ευκαιρία να ασκήσουν τις νοητικές τους δεξιότητες. Στην ελεύθερη ανακάλυψη οι μαθητές εργαζόμενοι συνήθως ανά ομάδες εμπλέκονται ενεργά στον σχεδιασμό και την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας μέσω της οποίας θα ανακαλύψουν την επιστημονική γνώση. Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να αξιοποιήσουν το νοητικό τους δυναμικό, να καλλιεργήσουν πρακτικές δεξιότητες και να λειτουργήσουν ως μικροί επιστήμονες καθώς εξασκούνται στην υλοποίηση επιστημονικών διαδικασιών (Χαλκιά, 2014). Ειδικότερα, η υλοποίηση πειραμάτων συμβάλλει στην ανάπτυξη του ενδιαφέροντος των μαθητών, στην καλλιέργεια της κριτικής τους σκέψης, στην προώθηση της συνεργασίας, της επικοινωνίας και της αλληλεπίδρασης. Ακόμη, οι μαθητές μαθαίνουν να χρησιμοποιούν με τον σωστό τρόπο τα διάφορα υλικά και όργανα, να παρατηρούν, να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα, να κάνουν μετρήσεις, να αναπτύσσουν στρατηγικές εύρεσης λύσεων (Σταύρου, 2015). Βέβαια, εκτός από τα κανονικά πειράματα που προϋποθέτουν την ύπαρξη ρεαλιστικών συνθηκών για την πραγματοποίησή τους, στη διδασκαλία αξιοποιούνται και τα εικονικά πειράματα μέσω της χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή κυρίως κατά την ομαδοσυνεργιακή μάθηση διευκολύνοντας την παρατήρηση των εξεταζόμενων φαινομένων (Χαλκιά, 2014).

3.6 Αξιοποίηση των ΤΠΕ στη διδασκαλία

Η πρόοδος και εξάπλωση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) τα τελευταία χρόνια δεν άφησε ανεπηρέαστο και τον χώρο της εκπαίδευσης επιφέροντας αλλαγές στον τρόπο υλοποίησης της εκπαιδευτικής διαδικασίας (Τζιμογιάννης & Σιόρεντα, 2007). Στις ΤΠΕ συγκαταλέγονται οι τεχνολογίες που αφορούν στην πληροφορία και την επικοινωνία. Οι ΤΠΕ λειτουργούν ως εποπτικό μέσο διδασκαλίας, ως πηγή και μέσο αναπαραγωγής πληροφοριών, ως εργαλείο ανακάλυψης της γνώσης και ως μέσο επικοινωνίας. Τα εργαλεία των ΤΠΕ περιλαμβάνουν πληθώρα λογισμικών, διαδικτυακών εφαρμογών και ιστοσελίδων παρέχοντας τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν στη σχολική τάξη κατά τη μαθησιακή διαδικασία (Παγγέ, 2016).

Η αξιοποίηση των ΤΠΕ στη σχολική τάξη προωθεί τον μαθητοκεντρικό τρόπο διδασκαλίας, προσφέρει οπτικοακουστικά ερεθίσματα στους μαθητές, ενεργοποιεί τις αισθήσεις τους προκαλώντας έτσι την αύξηση της προσοχής και την ενεργό συμμετοχή τους στη μαθησιακή διαδικασία, αυξάνει την αλληλεπίδραση και τη μεταξύ τους συνεργασία (Παγγέ, 2016; Τζιμογιάννης & Σιόρεντα, 2007; Ψύλλος, Μπάρμπας & Ιωαννίδης, 2010). Η αξιοποίηση της

τεχνολογίας συμβάλλει στη βελτίωση της διδασκαλίας καθώς παρέχει υψηλού επιπέδου αναπαραστάσεις όπως βίντεο, εικόνες και άλλου είδους παρουσιάσεις (Jacobsen, Eggen, & Kauchak, 2011) καθώς και προσομοιώσεις δίνοντας την ευκαιρία στους μαθητές να εμπλακούν με ενεργό τρόπο σε δραστηριότητες που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν ανέφικτο να τις πραγματοποιήσουν (Jacobsen, Eggen, & Kauchak, 2011). Μέσω των προσομοιώσεων οι μαθητές ασχολούνται με τη μελέτη μοντέλων της πραγματικότητας έχοντας τη δυνατότητα να καθορίσουν και να επεξεργαστούν οι ίδιοι ποικίλες παραμέτρους με ευέλικτο τρόπο (Γεωργόπουλος & Τσαλίκη, 2006). Επιπρόσθετα, η αξιοποίηση του ψηφιακού παιχνιδιού ή παιχνιδοποίησης εισάγει την εκπαιδευτική τεχνολογία στην εκπαιδευτική διαδικασία εμπλέκοντας τον μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία μέσω του παιχνιδιού προσφέροντας έτσι έναν διασκεδαστικό τρόπο μάθησης (Παγγέ, 2016).

Επιπλέον, η χρήση της τεχνολογίας παρέχει ευκαιρίες εξάσκησης για καλλιέργεια δεξιοτήτων, όπως αυτές της κριτικής σκέψης, της αξιολόγησης της πληροφορίας και της εύρεσης λύσεων, με ακόλουθη παροχή ανατροφοδότησης όσον αφορά στην επίδοση που σημειώνουν οι μαθητές. Ακόμη, η τεχνολογία αξιοποιείται στην επίλυση ρεαλιστικών προβλημάτων της καθημερινής ζωής με συνεργατικό τρόπο (Jacobsen, Eggen, & Kauchak, 2011; Τζιμογιάννης & Σιόρεντα, 2007; Ψύλλος, Μπάρμπας & Ιωαννίδης, 2010). Οι ΤΠΕ γενικότερα δημιουργούν ένα σύγχρονο και εμπλουτισμένο περιβάλλον μάθησης και παράλληλα επιτρέπουν την αξιοποίηση ποικίλων διδακτικών μεθόδων σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των μαθητών (Ψύλλος, Μπάρμπας & Ιωαννίδης, 2010).

Ο εκπαιδευτικός προκειμένου να ενσωματώσει τις ΤΠΕ στη διδακτική πράξη καλείται όχι μόνο να έχει τις απαραίτητες τεχνικές δεξιότητες αλλά και τις αντίστοιχες παιδαγωγικές αντιλήψεις που θα επιτρέπουν την αξιοποίηση των θετικών στοιχείων των ΤΠΕ στη μαθησιακή διαδικασία. Ο εκπαιδευτικός καλείται να οργανώσει τη διδασκαλία με ένα νέο τρόπο ο οποίος θα εμπλέκει ενεργά τους μαθητές στην υλοποίηση δραστηριοτήτων. Απαιτείται λοιπόν η ανάπτυξη μιας νέας εκπαιδευτικής και παιδαγωγικής κουλτούρας από τον εκπαιδευτικό ο οποίος θα αξιοποιεί την τεχνολογία σε ένα πλαίσιο μιας γενικότερης αλλαγής που αφορά στη χρησιμοποίηση των εκπαιδευτικών μέσων και διδακτικών πρακτικών (Τζιμογιάννης & Σιόρεντα, 2007).

Στον ελληνικό εκπαιδευτικό χώρο προσφέρεται πλήθος εκπαιδευτικών λογισμικών και εφαρμογών στο διαδίκτυο προς αξιοποίηση στη διδακτική πράξη για τα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών. Σκόπιμος κρίνεται λοιπόν ο σχεδιασμός διδακτικών σεναρίων στα

οποία θα αξιοποιούνται με τον κατάλληλο τρόπο τα υπάρχοντα εκπαιδευτικά λογισμικά ή τμήματά τους και οι διαδικτυακές εφαρμογές (Κοντογεωργίου & Κολοκοτρώνης, 2013).

3.7 Σχεδιασμός διδασκαλίας

Η διδασκαλία της ενότητας του μαθήματος της Βιολογίας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας» πραγματοποιείται μέσω της εκπαίδευσης STEM καθώς αξιοποιείται σε αυτήν η Επιστήμη, η Τεχνολογία, η Μηχανική και τα Μαθηματικά (Sanders, 2009). Οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να ασχοληθούν με θέματα της Επιστήμης και συγκεκριμένα των Φυσικών Επιστημών, όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, η όξινη βροχή και το φωτοχημικό νέφος. Επιπρόσθετα, οι μαθητές εξοικειώνονται με την Τεχνολογία καθώς περιηγούνται σε εικονικά περιβάλλοντα, εκτελούν πειράματα προσομοίωσης και επεξεργάζονται ψηφιακό υλικό εμπλεκόμενοι ενεργά και με βιωματικό τρόπο στη μαθησιακή διαδικασία σε ένα περιβάλλον που διεγείρει το ενδιαφέρον και την προσοχή τους. Ακόμα, οι μαθητές έρχονται σε επαφή με το πεδίο της Μηχανικής μέσω της αξιοποίησης υλικών από την καθημερινή ζωή προβαίνοντας στην κατασκευή απλών πειραματικών διατάξεων. Τέλος, οι μαθητές αξιοποιούν τα Μαθηματικά μέσω της πραγματοποίησης μετρήσεων, της κατασκευής πινάκων τιμών και γραφικών παραστάσεων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Για τη δημιουργία των σχεδίων μαθήματος και των αντίστοιχων φύλλων εργασίας που αφορούν στην ενότητα «Ρύπανση της ατμόσφαιρας» ακολουθείται το μοντέλο ανακαλυπτικής μάθησης με στοιχεία από το εποικοδομητικό μοντέλο μάθησης. Το μοντέλο της ανακαλυπτικής μάθησης αποτελεί μία από τις ενδεδειγμένες διδακτικές μεθόδους για την εκπαίδευση STEM (Erdogan & Stuessy, 2015) καθώς και για τη διδασκαλία των μαθημάτων Φυσικών Επιστημών. Παράλληλα, η αξιοποίηση του εποικοδομητικού μοντέλου μάθησης κρίνεται απαραίτητη καθώς η ύπαρξη εναλλακτικών ιδεών στους μαθητές θεωρείται δεδομένη και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό μιας διδασκαλίας στα μαθήματα Φυσικών Επιστημών με στόχο την αναδόμησή τους και την οικοδόμηση της νέας γνώσης (Χαλκιά, 2014; Χατζηνικήτα & Χρηστίδου, 2001α, β).

3.7.1 Σχέδιο μαθήματος για το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Τάξη: Γ' Λυκείου

Διδακτικοί στόχοι:

Μετά το τέλος της διδακτικής ενότητας οι μαθητές/-τριες θα είναι σε θέση:

Να ορίζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Να αναφέρουν τα αέρια τα οποία συμμετέχουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Να περιγράφουν τον μηχανισμό δημιουργίας και τον τρόπο δράσης του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Να αντιλαμβάνονται τη θετική επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη.

Να αναγνωρίζουν την επίδραση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Να απαριθμούν τις αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στο περιβάλλον.

Να εξοικειωθούν με τη χρήση των Τεχνολογιών, της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Να αξιοποιούν πειραματικές διατάξεις για τη μελέτη του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Να αποκτούν ομαδικό πνεύμα εργασίας κατά τη συνεργατική τους δράση.

Να αποδέχονται τη σημασία της ατομικής συμπεριφοράς για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Να υιοθετούν υπεύθυνη στάση για τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Οργάνωση της τάξης: Εργασία των μαθητών σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων.

Υλικά και εποπτικά μέσα: Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, σύνδεση στο διαδίκτυο, βιντεοπροβολέας, εκπαιδευτικά λογισμικά, φύλλο εργασίας σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή.

Διάρκεια: 2 διδακτικές ώρες

Πορεία διδασκαλίας

Εισαγωγή στη θεματική ενότητα – Πρόκληση ενδιαφέροντος των μαθητών

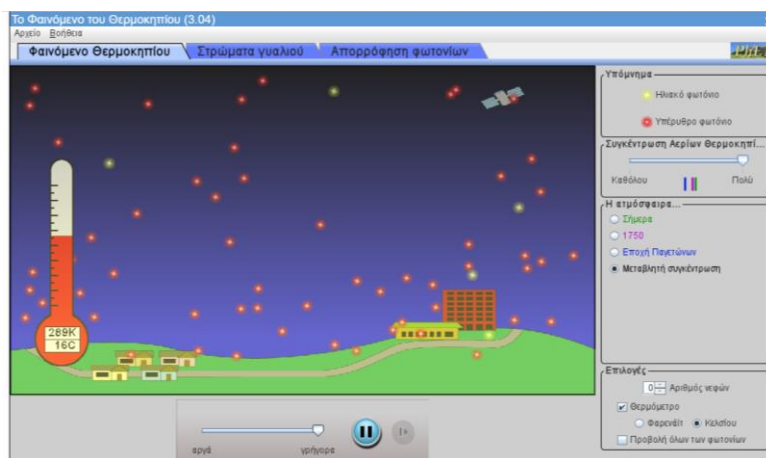
Χρησιμοποιούμε τον βιντεοπροβολέα για να παρουσιάσουμε στους μαθητές μια σειρά εικόνων σχετικών με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι μαθητές ενθαρρύνονται να συζητήσουν αναφορικά με τον μηχανισμό δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου και τις επιπτώσεις που αυτό προκαλεί. Σημειώνουμε στον πίνακα τις απαντήσεις των μαθητών. Στη συνέχεια τους ενημερώνουμε ότι θα διερευνήσουν οι ίδιοι τα ζητήματα αυτά.

Εκτέλεση δραστηριοτήτων

Δραστηριότητα 1

A. Οι μαθητές χωρισμένοι σε ομάδες σε κάθε υπολογιστή, επισκέπτονται τον ιστότοπο Phet Colorado και την προσομοίωση «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου» <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=el>

Επιλέγουν την καρτέλα «Φαινόμενο θερμοκηπίου» (βλέπε Εικόνα 3.1) και εκτελούν ένα εικονικό πείραμα. Ειδικότερα, οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο η ύπαρξη ή μη θερμοκηπικών αερίων αλλά και η διαφορετική τους συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα επηρεάζει τη θερμοκρασία της γης. Καλούνται να καταγράψουν στο φύλλο εργασίας τη θερμοκρασία σε κάθε περίπτωση και να σκεφτούν ποια θερμοκρασία είναι κατάλληλη για την ύπαρξη και τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Επιπλέον, οι μαθητές παρατηρούν τη συγκέντρωση των υπέρυθρων φωτονίων που εκπέμπει η γη σε κάθε περίπτωση. Τέλος, αντιλαμβάνονται τον μηχανισμό δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου και καλούνται να τον περιγράψουν.

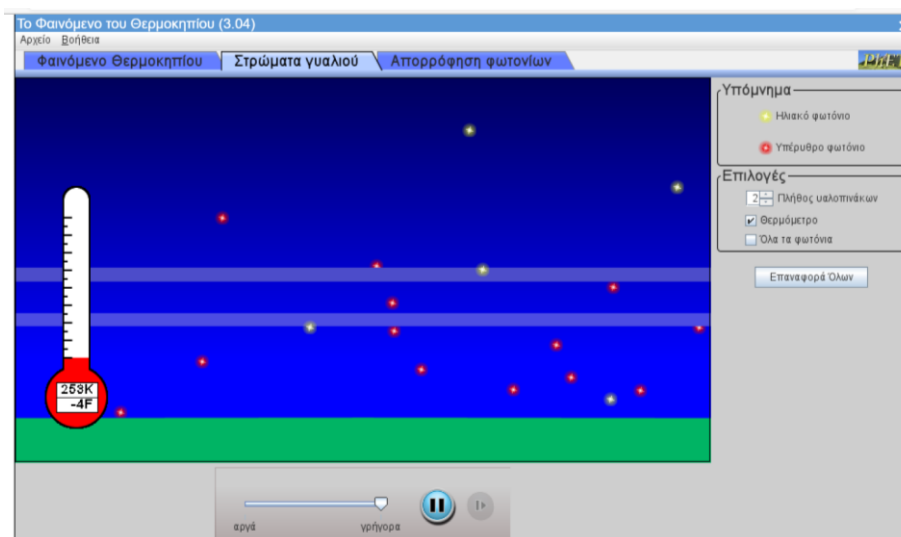


Εικόνα 3.1 Φαινόμενο θερμοκηπίου παρουσία αερίων του θερμοκηπίου (PhET University of Colorado, 2022b).

Β. Οι μαθητές επιλέγουν το πλαίσιο «Η ατμόσφαιρα» (βλέπε Εικόνα 3.1) και καλούνται να σημειώσουν στο φύλλο εργασίας την ένδειξη της θερμοκρασίας που επικρατεί στη γη κατά την προβιομηχανική περίοδο και τη σημερινή εποχή. Ζητείται επίσης από τους μαθητές να παρατηρήσουν τη συγκέντρωση των υπέρυθρων φωτονίων που εκπέμπει η γη σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, οι μαθητές καλούνται να διακρίνουν ποια αέρια ευθύνονται για τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Καλούνται επίσης να σημειώσουν τη συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα και να συγκρίνουν τη συγκέντρωση κάθε αερίου στην προβιομηχανική περίοδο με τη συγκέντρωση που παρατηρείται σήμερα.

Δραστηριότητα 2

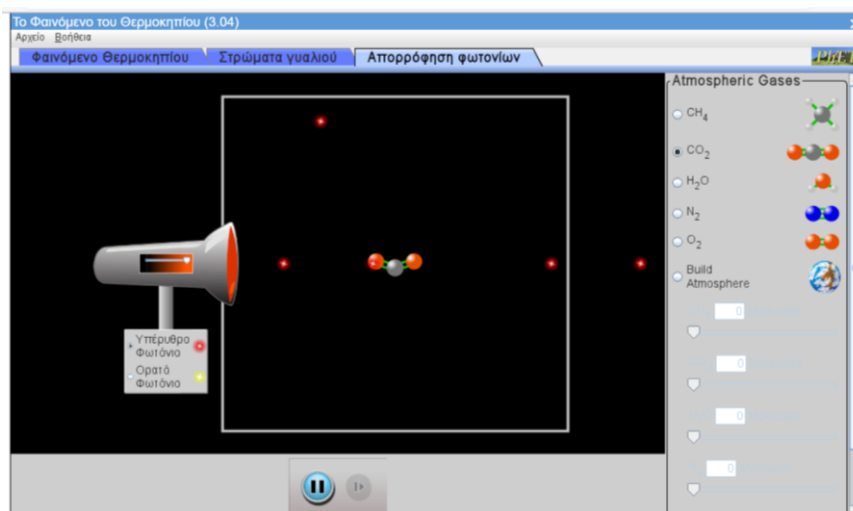
Οι μαθητές μέσω του ιστότοπου Phet Colorado και την προσομοίωση «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου» εκτελούν ένα εικονικό πείραμα επιλέγοντας την καρτέλα «Στρώματα γυαλιού» (βλέπε Εικόνα 3.2). Ειδικότερα, οι μαθητές καλούνται να παρατηρήσουν την πορεία των υπέρυθρων φωτονίων που επανεκπέμπονται από τη γη σε κάθε περίπτωση. Στη συνέχεια σημειώνουν στο φύλλο εργασίας την ένδειξη θερμοκρασίας απουσία υαλοπινάκα, με έναν και με δύο υαλοπινάκες. Τέλος, ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τον τρόπο λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου παρουσία υαλοπινάκων (PhET University of Colorado, 2022b).

Δραστηριότητα 3

Οι μαθητές μέσω του ιστότοπου Phet Colorado και την προσομοίωση «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου» εκτελούν ένα εικονικό πείραμα επιλέγοντας την καρτέλα «Απορρόφηση φωτονίων» (βλέπε Εικόνα 3.3). Καλούνται αρχικά να επιλέξουν «ορατό φωτόνιο» και από το πλαίσιο «Ατμοσφαιρικά αέρια» διαδοχικά το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό, το άζωτο και το οξυγόνο προκειμένου να διερευνήσουν ποια από τα αέρια αυτά αλληλεπιδρούν με τα ορατά φωτόνια. Έπειτα επιλέγουν «υπέρυθρο φωτόνιο» και επαναλαμβάνουν την ίδια διαδικασία για να διερευνήσουν ποια από τα αέρια αυτά αλληλεπιδρούν με τα υπέρυθρα φωτόνια. Ζητείται από τους μαθητές να σημειώσουν στο φύλλο εργασίας τι παρατηρούν.



Εικόνα 3.3 Απορρόφηση φωτονίων από αέρια της ατμόσφαιρας (PhET University of Colorado, 2022b).

Δραστηριότητα 4

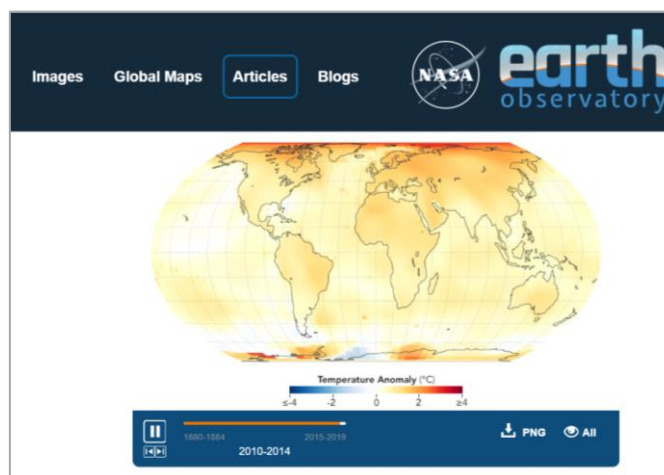
Οι μαθητές καλούνται να πραγματοποιήσουν οι ίδιοι ένα πείραμα προσομοίωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου αξιοποιώντας καθημερινά υλικά. Συγκεκριμένα, οι μαθητές εργάζονται ανά ομάδες έχοντας στη διάθεσή τους δύο γυάλινα δοχεία, δύο θερμομέτρα και δύο λάμπες υπέρυθρου φωτός. Μέσα σε κάθε δοχείο τοποθετείται ένα θερμομέτρο. Το ένα δοχείο καλύπτεται με μεμβράνη ενώ το άλλο όχι. Κάθε δοχείο φωτίζεται από μια λάμπα. Οι μαθητές καλούνται να καταγράψουν τις υποθέσεις τους για την ένδειξη της θερμοκρασίας σε κάθε περίπτωση. Στη συνέχεια κατασκευάζουν έναν πίνακα τιμών καταγράφοντας τη θερμοκρασία κάθε θερμομέτρου σε συνάρτηση με τον χρόνο. Ζητείται από τους μαθητές να

κατασκευάσουν το αντίστοιχο διάγραμμα θερμοκρασίας - χρόνου σε ένα λογιστικό φύλλο Excel και να προβούν σε συγκρίσεις.

Δραστηριότητα 5

Οι μαθητές επισκέπτονται την ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>

Οι μαθητές παρακολουθούν μέσω μιας προσομοίωσης τη μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη στην πορεία των ετών (βλέπε Εικόνα 3.4). Ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν την εξέλιξη του φαινομένου στην πάροδο του χρόνου και να αναφέρουν τους παράγοντες που θεωρούν υπεύθυνους για αυτό στο φύλλο εργασίας.



Εικόνα 3.4 Μεταβολή της θερμοκρασίας της γης με το πέρασμα των ετών (NASA Earth Observatory, 2021b).

Δραστηριότητα 6

Ακολουθεί συζήτηση σχετικά με τους τρόπους περιορισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν τις απόψεις τους στο φύλλο εργασίας.

Εξαγωγή συμπερασμάτων – Αξιολόγηση

Γίνεται σύνοψη και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Δραστηριότητα 7

Οι μαθητές με βάση όσα αποκόμισαν καλούνται να κατασκευάσουν έναν εννοιολογικό χάρτη με το πρόγραμμα power point με τα κύρια σημεία της ενότητας. Ειδικότερα, θα καταγράψουν τις αιτίες πρόκλησης του φαινομένου, τις επιπτώσεις καθώς και τους τρόπους περιορισμού του φαινομένου.

3.7.2 Σχέδιο μαθήματος για την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος

Τάξη: Γ' Λυκείου

Διδακτικοί στόχοι:

Μετά το τέλος της διδακτικής ενότητας οι μαθητές/-τριες θα είναι σε θέση:

Να ορίζουν τη στιβάδα του όζοντος.

Να ορίζουν την έννοια της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Να προσδιορίζουν τις αιτίες δημιουργίας της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Να περιγράφουν τον τρόπο πρόκλησης της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Να αντιλαμβάνονται τη θετική επίδραση της στιβάδας του όζοντος για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη.

Να αναγνωρίζουν την επίδραση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στη δημιουργία της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Να απαριθμούν τις επιπτώσεις της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος στο περιβάλλον.

Να αναγνωρίζουν τις αρνητικές επιπτώσεις των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στην εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος.

Να εξοικειωθούν με τη χρήση των Τεχνολογιών, της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Να αποκτούν ομαδικό πνεύμα εργασίας κατά τη συνεργατική τους δράση.

Να αποδέχονται τη σημασία της ατομικής συμπεριφοράς για τον περιορισμό της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Να υιοθετούν υπεύθυνη στάση για τον περιορισμό της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Οργάνωση της τάξης: Εργασία των μαθητών σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων.

Υλικά και εποπτικά μέσα: Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, σύνδεση στο διαδίκτυο, βιντεοπροβολέας, εκπαιδευτικά λογισμικά, φύλλο εργασίας σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή

Διάρκεια: 1 διδακτική ώρα

Πορεία διδασκαλίας

Εισαγωγή στη θεματική ενότητα – Πρόκληση ενδιαφέροντος των μαθητών

Χρησιμοποιούμε τον βιντεοπροβολέα για να παρουσιάσουμε στους μαθητές μια σειρά εικόνων σχετικών με την εξασθένιση της στιβάδας του όζοντος. Οι μαθητές ενθαρρύνονται να συζητήσουν αναφορικά με τον μηχανισμό δημιουργίας του φαινομένου και τις επιπτώσεις που αυτό προκαλεί. Σημειώνουμε στον πίνακα τις απαντήσεις των μαθητών.

Εκτέλεση δραστηριοτήτων

Δραστηριότητα 1

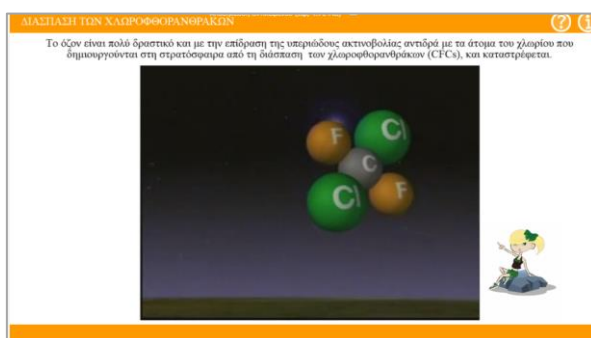
Οι μαθητές χωρισμένοι σε ομάδες επισκέπτονται την ηλεκτρονική διεύθυνση <http://photodentro.edu.gr/aggregator/lo/photodentro-lor-8521-2412> στον ιστότοπο photodentro όπου παρακολουθούν μέσω μιας δυναμικής οπτικοποιημένης αναπαράστασης τον τρόπο σχηματισμού του όζοντος (βλέπε Εικόνα 3.5). Ειδικότερα, οι μαθητές παρακολουθούν τον σχηματισμό του όζοντος κατά την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου στο μοριακό οξυγόνο και την ένωση του ατομικού οξυγόνου με το μοριακό οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Στη συνέχεια ζητείται από τους μαθητές να περιγράψουν τον τρόπο σχηματισμού του όζοντος και να σημειώσουν την απάντησή τους στο φύλλο εργασίας.



Εικόνα 3.5 Σχηματισμός του όζοντος (photodentro, 2022b).

Δραστηριότητα 2

Οι μαθητές επισκέπτονται την ηλεκτρονική διεύθυνση <http://photodentro.edu.gr/aggregator/lo/photodentro-lor-8521-1512> όπου παρακολουθούν μέσω μιας δυναμικής οπτικοποιημένης αναπαράστασης τον τρόπο διάσπασης των χλωροφθορανθράκων στη στρατόσφαιρα (βλέπε Εικόνα 3.6). Ειδικότερα, οι μαθητές παρακολουθούν τη διάσπαση των χλωροφθορανθράκων, στους οποίους επιδρά η υπεριώδης ακτινοβολία, σε ενώσεις χλωρίου με αποτέλεσμα την καταστροφή του όζοντος. Οι μαθητές καλούνται να περιγράψουν τη διαδικασία διάσπασης των χλωροφθορανθράκων και να καταγράψουν την απάντησή τους στο φύλλο εργασίας.



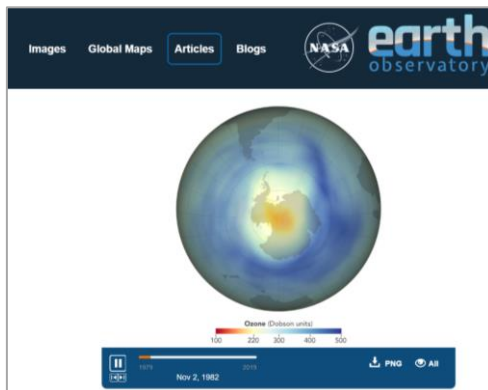
Εικόνα 3.6 Διάσπαση χλωροφθορανθράκων (photodentro, 2022a).

Δραστηριότητα 3

Οι μαθητές επισκέπτονται την ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/ozone.php>

Οι μαθητές παρακολουθούν μέσω μιας προσομοίωσης την εξέλιξη της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος στην πορεία των ετών (βλέπε Εικόνα 3.7). Ζητείται από τους μαθητές

να περιγράψουν την εξέλιξη του φαινομένου στην πάροδο του χρόνου και να αναφέρουν τους παράγοντες που θεωρούν υπεύθυνους για αυτό καταγράφοντας τις απαντήσεις τους στο φύλλο εργασίας.



Εικόνα 3.7 Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος στην πορεία του χρόνου (NASA Earth Observatory, 2021a).

Δραστηριότητα 4

Ακολουθεί συζήτηση στην τάξη για τις ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί περιορισμός της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος. Ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν τις απόψεις τους στο φύλλο εργασίας.

Εξαγωγή συμπερασμάτων – Αξιολόγηση

Γίνεται σύνοψη και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Δραστηριότητα 5

Οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν έναν εννοιολογικό χάρτη με το πρόγραμμα power point με τα κύρια σημεία της ενότητας. Ειδικότερα, θα καταγράψουν τις αιτίες πρόκλησης του φαινομένου, τις επιπτώσεις καθώς και τους τρόπους περιορισμού του.

3.7.3.Σχέδιο μαθήματος για την όξινη βροχή

Τάξη: Γ' Λυκείου

Διδακτικοί στόχοι:

Μετά το τέλος της διδακτικής ενότητας οι μαθητές/-τριες θα είναι σε θέση:

Να ορίζουν την έννοια της όξινης βροχής.

Να προσδιορίζουν τις αιτίες δημιουργίας της όξινης βροχής.

Να περιγράψουν τη διαδικασία δημιουργίας της όξινης βροχής.

Να αναγνωρίζουν την επίδραση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στον σχηματισμό της όξινης βροχής.

Να απαριθμούν τις επιπτώσεις της όξινης βροχής στο περιβάλλον.

Να εξοικειωθούν με τη χρήση των Τεχνολογιών, της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Να αξιοποιούν πειραματικές διατάξεις για τη μελέτη της όξινης βροχής.

Να αποκτούν ομαδικό πνεύμα εργασίας κατά τη συνεργατική τους δράση.

Να αποδέχονται τη σημασία της ατομικής συμπεριφοράς για τον περιορισμό του φαινομένου της όξινης βροχής.

Να υιοθετούν υπεύθυνη στάση για τον περιορισμό του φαινομένου της όξινης βροχής.

Οργάνωση της τάξης: Εργασία των μαθητών σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων.

Υλικά και εποπτικά μέσα: Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, σύνδεση στο διαδίκτυο, βιντεοπροβολέας, εκπαιδευτικό λογισμικό, φύλλο εργασίας σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή.

Διάρκεια: 1 διδακτική ώρα

Πορεία διδασκαλίας

Εισαγωγή στη θεματική ενότητα – Πρόκληση ενδιαφέροντος των μαθητών

Χρησιμοποιούμε τον βιντεοπροβολέα για να παρουσιάσουμε στους μαθητές μια σειρά από εικόνες με αγάλματα και ιστορικά μνημεία τα οποία έχουν διαβρωθεί από την όξινη βροχή. Προβάλλουμε παράλληλα και τις αντίστοιχες εικόνες των αγαλμάτων και των μνημείων πριν επιδράσει σε αυτά η όξινη βροχή. Ζητείται από τους μαθητές να αναφέρουν τις αιτίες της διάβρωσης των μαρμάρινων κατασκευών. Σημειώνουμε στον πίνακα τις απαντήσεις των μαθητών. Στη συνέχεια τους ενημερώνουμε ότι θα διερευνήσουν οι ίδιοι το ζήτημα αυτό.

Εκτέλεση δραστηριοτήτων

Δραστηριότητα 1

Οι μαθητές ανά ομάδες εκτελούν ένα πείραμα προκειμένου να διαπιστώσουν την επίδραση υγρών με διαφορετικό pH στον ασβεστόλιθο, ο οποίος περιέχεται στην κιμωλία αλλά και στα αγάλματα και στα μνημεία.

Για τον σκοπό αυτό, οι μαθητές έχουν στη διάθεσή τους τρία δοχεία με νερό βρύσης, ξύδι και χυμό λεμονιού. Επίσης έχουν τρεις κιμωλίες, ένα καρφί και πεχαμετρικό χαρτί. Αρχικά, οι μαθητές καλούνται να μετρήσουν με το πεχαμετρικό χαρτί το pH του υγρού κάθε δοχείου. Έπειτα, ζητείται από τους μαθητές να διατυπώσουν υποθέσεις σχετικά με τη διάβρωση που θα υποστεί η κάθε μία κιμωλία όταν εμβυθιστεί στο εκάστοτε δοχείο υγρού. Στη συνέχεια, οι μαθητές χαράζουν με το καρφί τις κιμωλίες που έχουν στη διάθεσή τους και τοποθετούν για 20 λεπτά μία κιμωλία στο δοχείο με το νερό, μία κιμωλία στο δοχείο με το ξύδι και μία κιμωλία στο δοχείο με τον χυμό λεμονιού. Οι μαθητές αφαιρούν τις κιμωλίες από τα δοχεία, παρατηρούν το μέγεθος της διάβρωσης που εμφανίζει κάθε κιμωλία, προβαίνουν σε συγκρίσεις και καταλήγουν σε συμπεράσματα σε σχέση με τις αρχικές τους υποθέσεις. Καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους στο φύλλο εργασίας.

Δραστηριότητα 2

Αφού ολοκληρωθεί η διεξαγωγή του πειράματος με τη διάβρωση των κιμωλιών στα διαφορετικά είδη υγρών, ακολουθεί η προβολή του βίντεο <https://www.youtube.com/watch?v=s9kAiph27aI> μέσω του βιντεοπροβολέα όπου παρουσιάζεται η βλαπτική επίδραση ενός όξινου υγρού σε διαφορετικά υλικά. Ειδικότερα, οι μαθητές παρακολουθούν ένα πείραμα στο οποίο τοποθετούνται φύλλα δέντρου και τσόφλι αυγού αντιπροσωπεύοντας έμβια αντικείμενα καθώς και ένας μεταλλικός συνδετήρας σε ένα δοχείο με νερό και σε ένα δοχείο με ξύδι. Καλούνται να συγκρίνουν την κατάσταση των αντικειμένων αυτών μετά από μία ημέρα και μετά από μία εβδομάδα. Οι μαθητές καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους στο φύλλο εργασίας.

Δραστηριότητα 3

Οι μαθητές παρακολουθούν ένα βίντεο σχετικό με τον σχηματισμό της όξινης βροχής στη διεύθυνση <https://www.youtube.com/watch?v=TAjn7mWgqpo>

Ζητείται από τους μαθητές να σημειώσουν στο φύλλο εργασίας τα αέρια που είναι υπεύθυνα για τον σχηματισμό της όξινης βροχής.

Δραστηριότητα 4

Ακολουθεί συζήτηση στην τάξη για τους τρόπους δράσης που μπορούν να συμβάλουν στον περιορισμό της όξινης βροχής. Ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν τις απόψεις τους στο φύλλο εργασίας.

Εξαγωγή συμπερασμάτων – Αξιολόγηση

Γίνεται σύνοψη και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Δραστηριότητα 5

Οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν έναν εννοιολογικό χάρτη με το λογισμικό `bubbl.us` με τα κύρια σημεία της ενότητας. Ειδικότερα, θα καταγράψουν τις αιτίες πρόκλησης της όξινης βροχής, τις επιπτώσεις καθώς και τους τρόπους περιορισμού του φαινομένου.

3.7.4 Σχέδιο μαθήματος για το φωτοχημικό νέφος

Τάξη: Γ' Λυκείου

Διδακτικοί στόχοι:

Μετά το τέλος της διδακτικής ενότητας οι μαθητές/-τριες θα είναι σε θέση:

Να ορίζουν το φωτοχημικό νέφος.

Να προσδιορίζουν τις αιτίες σχηματισμού του φωτοχημικού νέφους.

Να περιγράφουν τον τρόπο σχηματισμού του φωτοχημικού νέφους.

Να αναγνωρίζουν την επίδραση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους.

Να απαριθμούν τις επιπτώσεις του φωτοχημικού νέφους στο περιβάλλον.

Να εξοικειωθούν με τη χρήση των Τεχνολογιών, της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ).

Να αποκτούν ομαδικό πνεύμα εργασίας κατά τη συνεργατική τους δράση.

Να αποδέχονται τη σημασία της ατομικής συμπεριφοράς για τον περιορισμό του φωτοχημικού νέφους.

Να υιοθετούν υπεύθυνη στάση για τον περιορισμό του φωτοχημικού νέφους.

Οργάνωση της τάξης: Εργασία των μαθητών σε ομάδες των 3 ή 4 ατόμων.

Υλικά και εποπτικά μέσα: Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, σύνδεση στο διαδίκτυο, βιντεοπροβολέας, εκπαιδευτικά λογισμικά, φύλλο εργασίας σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή.

Διάρκεια: 1 διδακτική ώρα

Πορεία διδασκαλίας

Εισαγωγή στη θεματική ενότητα – Πρόκληση ενδιαφέροντος των μαθητών

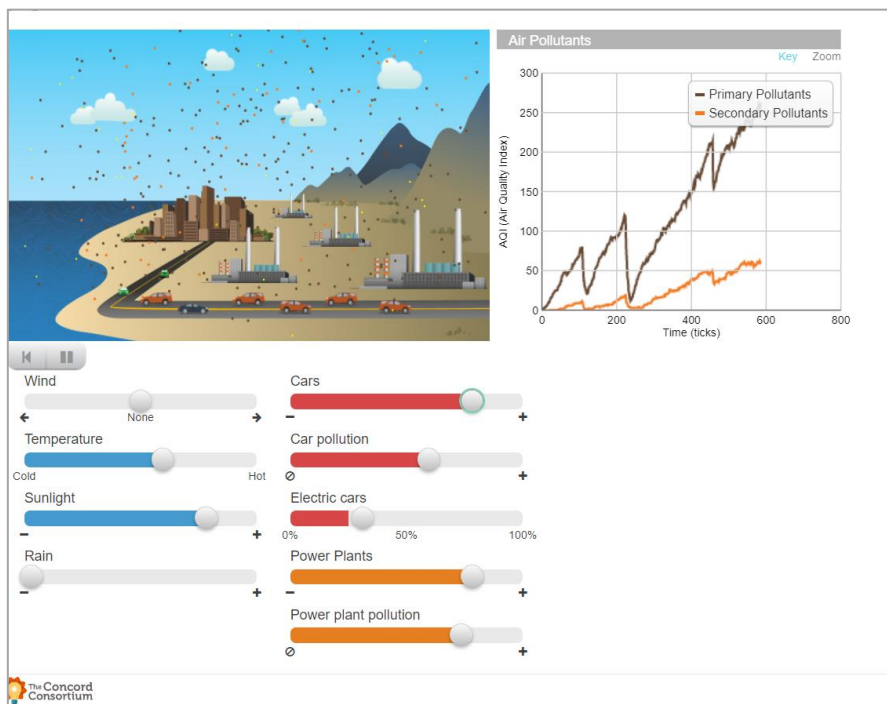
Χρησιμοποιούμε τον βιντεοπροβολέα για να παρουσιάσουμε στους μαθητές μια σειρά από εικόνες σχετικές με το φωτοχημικό νέφος. Οι μαθητές ενθαρρύνονται να συζητήσουν αναφορικά με τον μηχανισμό δημιουργίας του φαινομένου και τις επιπτώσεις που αυτό προκαλεί. Σημειώνουμε στον πίνακα τις απαντήσεις των μαθητών.

Εκτέλεση δραστηριοτήτων

Δραστηριότητα 1

Οι μαθητές χωρισμένοι σε ομάδες σε κάθε υπολογιστή επισκέπτονται την ηλεκτρονική διεύθυνση <https://has.concord.org/air-pollution.html>

Οι μαθητές καλούνται να χρησιμοποιήσουν ένα μοντέλο προσομοίωσης για να διερευνήσουν πώς σχετίζεται η ρύπανση του αέρα με διάφορες πηγές ρύπανσης όπως, τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια, αλλά και τις καιρικές συνθήκες (βλέπε Εικόνα 3.8). Οι μαθητές τροποποιούν παραμέτρους όπως ο άνεμος, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια, η βροχή, αλλά και τον αριθμό των συμβατικών ή ηλεκτρικών αυτοκινήτων και τον αριθμό των εργοστασίων και παρατηρούν τις επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση εμφανίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα όπου απεικονίζεται η ποσότητα των πρωτογενών και των δευτερογενών ρύπων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Οι μαθητές καλούνται να προβούν σε συγκρίσεις και να καταγράψουν τις παρατηρήσεις τους στο φύλλο εργασίας.

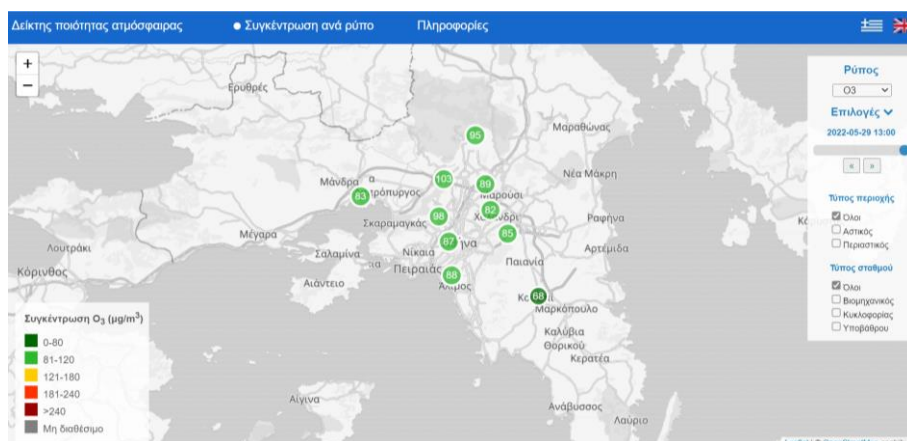


Εικόνα 3.8 Ρύπανση του αέρα (The Concord Consortium, 2018).

Δραστηριότητα 2

Οι μαθητές χωρισμένοι σε ομάδες σε κάθε υπολογιστή επισκέπτονται την ηλεκτρονική διεύθυνση <https://ypen.gov.gr/perivallon/roiotita-tis-atmosfairas/>

Με την αξιοποίηση ενός δυναμικού χάρτη οι μαθητές παρακολουθούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Αττική (βλέπε Εικόνα 3.9). Ο χάρτης απεικονίζει με δυναμικό τρόπο τις μετρήσεις των αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Ειδικότερα, οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν διαδοχικά καθένα από τους ρύπους και να καταγράψουν στο φύλλο εργασίας τη συγκέντρωση του ρύπου αυτού για κάθε πόλη της Αττικής στην οποία γίνεται η μέτρηση. Ζητείται από τους μαθητές να κατασκευάσουν στο Excel ένα διάγραμμα (ραβδόγραμμα) στο οποίο θα απεικονίζεται η συγκέντρωση κάθε ρύπου σε κάθε πόλη όπου πραγματοποιούνται οι μετρήσεις.



Εικόνα 3.9 Δυναμικός χάρτης με μετρήσεις της ποιότητας αέρα (ΥΠΕΝ, 2022).

Δραστηριότητα 3

Ακολουθεί συζήτηση στην τάξη για τους τρόπους δράσης που μπορούν να συμβάλουν στον περιορισμό της φωτοχικού νέφους. Ζητείται από τους μαθητές να καταγράψουν τις απόψεις τους στο φύλλο εργασίας.

Εξαγωγή συμπερασμάτων - Αξιολόγηση

Γίνεται σύνοψη και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Δραστηριότητα 4

Οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν έναν εννοιολογικό χάρτη με το λογισμικό bubbl.us με τα κύρια σημεία της ενότητας καταγράφοντας τις αιτίες πρόκλησης του φωτοχημικού νέφους, τις επιπτώσεις και τους τρόπους περιορισμού του.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε ο σχεδιασμός προτεινόμενων διδακτικών σεναρίων που αφορούν στη διδασκαλία της ενότητας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας» στο μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκαν τέσσερα διδακτικά σενάρια και τα αντίστοιχα φύλλα εργασίας που αφορούν στη διδασκαλία του φαινομένου του θερμοκηπίου, της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος, της όξινης βροχής και του φωτοχημικού νέφους.

Μολονότι τα προτεινόμενα σχέδια μαθήματος δεν εφαρμόστηκαν στη διδακτική πράξη, αναφορικά με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα η εκπαίδευση STEM μπορεί να αξιοποιηθεί στη

διδασκαλία της ενότητας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας» του μαθήματος της Βιολογίας Γ' Λυκείου. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η εκπαίδευση STEM μπορεί να αξιοποιηθεί με αποτελεσματικό τρόπο στη διδασκαλία τόσο μαθητών Γυμνασίου (Afriana, Permanasari & Fitriani, 2016) όσο και προπτυχιακών φοιτητών Δημοτικής Εκπαίδευσης (Rico et al., 2021).

Αναφορικά με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, εμφανίζονται θετικά μαθησιακά αποτελέσματα από την εφαρμογή των προτεινόμενων σχεδίων μαθήματος στη διδασκαλία της ενότητας «Ρύπανση της ατμόσφαιρας». Η αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM για τη διδασκαλία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μαθητές Γυμνασίου οδήγησε σε θετικά μαθησιακά αποτελέσματα. Ειδικότερα, ενισχύθηκε ο επιστημονικός εγγραμματισμός των μαθητών και οι επιστημονικές τους δεξιότητες όσον αφορά στο θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ενισχύθηκαν επίσης τα κίνητρα μάθησης των μαθητών, οι οποίοι εργάστηκαν με ενθουσιασμό και αυξημένο ενδιαφέρον και απέκτησαν σημαντικές εμπειρίες. Επιπρόσθετα, υπήρξε αποτελεσματική κατανόηση του υπό μελέτη θέματος από τους μαθητές οι οποίοι παράλληλα οδηγήθηκαν στη συνειδητοποίηση της αξίας της προστασίας του περιβάλλοντος. Τέλος, οι μαθητές εκδήλωσαν την επιθυμία να συμμετέχουν σε αντίστοιχες μαθησιακές διαδικασίες μελλοντικά (Afriana, Permanasari & Fitriani, 2016). Η μάθηση μέσω της εκπαίδευσης STEM που αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση φαίνεται να έχει θετική επίδραση και σε προπτυχιακούς φοιτητές δημοτικής εκπαίδευσης. Πιο συγκεκριμένα, οι φοιτητές συμμετείχαν με ενεργό τρόπο στην εκπαιδευτική διαδικασία, κατανόησαν το περιεχόμενο του μελετώμενου θέματος, ανέπτυξαν τις αναμενόμενες θετικές στάσεις και βελτίωσαν την αυτοαποτελεσματικότητά τους (Rico et al., 2021).

Τέλος, για την πληρέστερη απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων προτείνεται η εφαρμογή των προτεινόμενων σχεδίων μαθήματος στην πράξη προκειμένου να ερευνηθεί η αποτελεσματικότητά τους στη διδασκαλία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Γ' Λυκείου καθώς και η επίδρασή τους στην επίδοση των μαθητών. Επιπρόσθετα, προτείνεται η επέκταση των σχεδίων μαθήματος με περισσότερες δραστηριότητες.

Επίλογος

Είναι πλέον απαραίτητο όλοι οι μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, ανεξάρτητα από τον επαγγελματικό τους προσανατολισμό, να προσεγγίσουν την επιστήμη και να εμπλακούν ενεργά σε διαδικασίες ανάπτυξης της επιστημονικής σκέψης. Η μαθητοκεντρικά προσανατολισμένη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών επιτρέπει στους μαθητές να οικοδομήσουν γνώσεις και να αναπτύξουν δεξιότητες όπως αυτή της κριτικής σκέψης, της επίλυσης προβλήματος και της λήψης απόφασης, απαραίτητες στη σύγχρονη κοινωνία όπου μελλοντικά θα ζουν και θα εργάζονται.

Τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα και οι αρνητικές τους επιπτώσεις στο περιβάλλον καθιστούν απαραίτητη την αποτελεσματική διδασκαλία των ζητημάτων αυτών στο σχολείο προκειμένου οι μαθητές να οικοδομήσουν τις αντίστοιχες γνώσεις, να ενισχύσουν τις δεξιότητες επίλυσης προβλήματος και λήψης αποφάσεων και να αναπτύξουν στάσεις και συμπεριφορές που θα συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος. Μάλιστα, καθώς οι μαθητές συχνά έχουν εναλλακτικές ιδέες για τα περιβαλλοντικά προβλήματα, οι οποίες αποτελούν εμπόδιο για την οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης και παράλληλα αντιστέκονται σε προσπάθειες αλλαγής τους ιδιαίτερα μέσω του παραδοσιακού τρόπου διδασκαλίας, κρίνεται απαραίτητη η αξιοποίηση μαθητοκεντρικά προσανατολισμένων διδακτικών στρατηγικών.

Η μάθηση με αξιοποίηση της εκπαίδευσης STEM δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές, μέσω πειραματισμού, έρευνας, μοντελοποίησης και σχεδιασμού, να προσεγγίσουν την επιστημονική γνώση με διεπιστημονικό τρόπο. Με την εκπαίδευση STEM επιτυγχάνεται η ανάπτυξη του επιστημονικού, τεχνολογικού, μηχανικού και μαθηματικού εγγραμματισμού των μαθητών, επιτρέποντάς τους να κατανοούν τον τρόπο λειτουργίας του κόσμου, να αναπτύσσουν γνώσεις, δεξιότητες και στάσεις για να απαντούν σε ερωτήματα και να επιλύουν προβλήματα σε καταστάσεις της πραγματικής ζωής, να εξηγούν τον κόσμο που τους περιβάλλει και να εξάγουν τεκμηριωμένα συμπεράσματα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Βώκου, Δ. (2004). *Οικολογία. Από τη Βιόσφαιρα στους Πληθυσμούς*. Τόμος Γ'. Πάτρα: ΕΑΠ.
- Γεωργόπουλος, Α. & Τσαλίκη, Ε. (2006). *Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. Αρχές – Φιλοσοφία, Μεθοδολογία, Παιχνίδια & Ασκήσεις*. Αθήνα: Gutenberg.
- Ελληνική Εκπαιδευτική Ένωση STEM (E3STEM). (2021). *Σκοπός της Ένωσης*. Ανακτήθηκε από: http://e3stem.edu.gr/wordpress/?page_id=6 στις 1/2/2021.
- Ζάνης, Π. (2014). *Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ζιώμας, Γ. (2007). *Περιβαλλοντική επιστήμη. Ατμόσφαιρα - Ατμοσφαιρική ρύπανση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών.
- Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (ΙΕΠ) (2015). *Τεύχος μελέτης εξειδίκευσης μεθοδολογίας, ανάπτυξης προδιαγραφών και μεθοδολογίας επιλογής των σεναρίων των εκπαιδευτικών για όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης ανά γνωστικό αντικείμενο για την Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στο γνωστικό αντικείμενο «Φυσική»*. Αθήνα: ΙΕΠ.
- Κατσαφάδος, Π. & Μαυροματίδης, Η. (2015). *Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή*. Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Κοντογεωργίου, Α. & Κολοκοτρώνης, Δ. (2013). Θεωρίες μάθησης και ΤΠΕ στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. *Εκπαιδευτική Επικαιρότητα*, 4(A), 14-20.
- Κουλαϊδής, Β. (2001). Διδακτική των Φυσικών Επιστημών: αντικείμενο και αναγκαιότητα Στο: Κ. Δημόπουλος & Β. Χατζηνικήτα (Επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* (σ. 25-50). Τόμος Α. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Κουρούτος, Β., Μαντζάρα, Μ. & Σκούλλος, Μ. (2008). Σύντομη παρουσίαση σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Στο: Μ. Σκούλλος (Επιμ.), *Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και Εκπαίδευση για την αειφόρο ανάπτυξη σε προστατευόμενες περιοχές - Επιμορφωτικό υλικό* (σελ. 41-53). Αθήνα: Εκδ. ΜΙΟ-ECSDE.

Μελάς, Δ., Αλεξανδροπούλου, Α., Αμοιρίδης, Β., Κακαρίδου, Μ. & Σουλακέλλης, Ν. (2000). *Ατμοσφαιρική ρύπανση [Οδηγός εκπαιδευτικών]*. Αθήνα: Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Μελάς, Δ., Μπάης, Α. & Μπαλής, Δ. (2015). *Ατμοσφαιρική τεχνολογία*. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ρεμουντάκη, Ε. (2010). *Αέρας και ατμοσφαιρική ρύπανση - Οδηγός για το περιβάλλον*. Αθήνα: WWF Ελλάς.

PhET University of Colorado (2022a). Προσομοιώσεις. Ανακτήθηκε από: <https://phet.colorado.edu/el/> στις 1/2/2022

PhET University of Colorado (2022b). *Το φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Ανακτήθηκε από: <https://phet.colorado.edu/el/> στις 1/2/2022

Photodentro (2021). *Τι είναι το φωτόδεντρο/μαθησιακά αντικείμενα;* Ανακτήθηκε από: <http://photodentro.edu.gr/aggregator/> στις 1/2/2022,

Photodentro (2022a). *Διάσπαση των χλωροφθορανθράκων*. Ανακτήθηκε από: <http://photodentro.edu.gr/aggregator/lo/photodentro-lor-8521-1512> στις 1/2/2022.

Photodentro (2022b). *Σχηματισμός του όζοντος*. Ανακτήθηκε από: <http://photodentro.edu.gr/aggregator/lo/photodentro-lor-8521-2412> στις 1/2/2022.

Σδράλλης, Ι. & Κολέζα, Ε. (2019). *Η ενσωμάτωση των προγραμμάτων σπουδών των αντικειμένων STEM στον σχεδιασμό ενός σεναρίου STEM*. Εργαστήριο Έρευνας για τη Διδασκαλία των Μαθηματικών, ΠΤΔΕ, Παν. Πατρών. Ανακτήθηκε από: <https://pdfs.semanticscholar.org/e70e/679fbfa2e3db967e962b9631cc75537dd321.pdf> στις 25/9/2022.

Σκουμιάς, Μ. (2017). *Διδακτική επεξεργασία των αντιλήψεων και εμποδίων των μαθητών για θέματα των φυσικών επιστημών και του περιβάλλοντος*. [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου-Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Ρόδος.

Σκουμιάς, Μ. (2018). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου-Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Ρόδος.

Σταύρου, Δ (2015). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* [Πανεπιστημιακές Σημειώσεις]. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Ρέθυμνο.

Τζιμογιάννης, Α. & Σιόρεντα, Α. (2007). Παράγοντες που καθορίζουν τις στάσεις των καθηγητών Φυσικών Επιστημών για τις ΤΠΕ στη διδασκαλία τους. Στο: Α. Κατσίκης, Κ. Κώτσης, Α. Μικρόπουλος & Γ. Τσαπαρλής (Επιμ.), *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση»*, 15-18 Μαρτίου 2007 (σ. 939-949). Τεύχος Γ. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) (2022). *Ποιότητα της ατμόσφαιρας*. Ανακτήθηκε από: <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/> στις 10/2/2022.

Vasiliou, A. (2022). *Όξινη βροχή*. Ανακτήθηκε από: <https://www.youtube.com/watch?v=TAjn7mWgqpo> στις 3/3/2022.

Χαλκιά, Κ. (2014). *Διδάσκοντας φυσικές επιστήμες. Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις*. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.

Χατζηνικήτα, Β. & Χρηστίδου, Β. (2001α). Πρακτικο-βιωματική γνώση των μαθητών: γενικά χαρακτηριστικά. Στο: Κ. Δημόπουλος & Β. Χατζηνικήτα (Επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* (σ. 153-188). Τόμος Α. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Χατζηνικήτα, Β. & Χρηστίδου, Β. (2001β). Σημασία της έρευνας σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών. Στο: Κ. Δημόπουλος & Β. Χατζηνικήτα (Επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* (σ. 51-74). Τόμος Α. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Χρηστίδου, Β. (2001). Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η μείωση του όζοντος. Στο: Κ. Δημόπουλος & Β. Χατζηνικήτα (Επιμ.), *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* (σ. 135-183). Τόμος Β. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Ψύλλος Δ., Μπάρμπας Α. & Ιωαννίδης Δ. (2010). *Διαδραστικά συστήματα διδασκαλίας & Η αξιοποίησή τους στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση*. Επιμορφωτικό υλικό ΠΕ04 - Επιμόρφωση των Εκπαιδευτικών για την Αξιοποίηση και Εφαρμογή των ΤΠΕ στη Διδακτική Πράξη, Εκπαίδευση και δια βίου μάθηση.

Afriana, J., Permanasari, A. & Fitriani, A. (2016). Project Based Learning integrated to STEM to enhance elementary school's students scientific literacy. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia (JPPI)*, 5(2), 261-267.

Brown, R., Brown, J., Reardon, K. & Merrill, C. (2011). Understanding STEM: Current perceptions. *Technology and Engineering Teacher*, 70(6), 5–9.

Bybee, R. W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. USA: National Science Teachers Association, NSTA Press.

Capraro, R. M. & Slough, S. W. (2013). Why PBL? Why STEM? Why now? An introduction to project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach. In: R. M. Capraro, M. M. Capraro, & J. R. Morgan, (Eds.), *STEM Project-Based Learning: An Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach* (pp. 1–6). Rotterdam: Sense Publishers.

Carnevale, A., Melton, M. & Smith, N. (2011). STEM. Washington, Georgetown University Center on Education and the Workforce.

Chesky, N. & Wolfmeyer, M. (2015). *Philosophy of STEM Education. A Critical Investigation*. New York: Palgrave Macmillan.

Erdogan, N. & Stuessy, C. (2015). Examining the Role of Inclusive STEM Schools in the College and Career Readiness of Students in the United States: A Multi-Group Analysis on the Outcome of Student Achievement. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 15(6), 1517-1529.

European Environment Agency (2021a). *Air pollution sources*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1> on 5/2/2022.

European Environment Agency (2021b). *Global and European temperatures*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-temperatures> on 5/2/2022.

European Union (2022). *Climate change*. Retrieved from https://europa.eu/climate-pact/about/climate-change_en on 5/2/2022.

Gonzalez, H. & Kuenzi, J. (2012). *Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer*, Congressional Research Service. Retrieved from: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R42642.pdf> on 11/12/2021.

International Technology Education Association (ITEA) (2007). *Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*. Reston: International Technology Education Association.

Jacobsen, D., Eggen, P. & Kauchak, D. (2011). *Μέθοδοι διδασκαλίας. Ενίσχυση της μάθησης των παιδιών από το νηπιαγωγείο έως το λύκειο* (Επιμ. Μ. Σακελλαρίου & Μ. Κόνσολας, Μτφ. Ρ. Λαμπρέλλη). Ζεφύρι: Διάδραση.

Karakaya - Cirit, D. & Aydemir, S. (2021). Exploring Levels of Secondary School Students' Knowledge: Global Warming, Acid Rain, and Ozone Layer Depletion. *Education Quarterly Reviews*, 4(1), 199-212.

Kennedy, T.J. & Odell, M.R.L. (2014). Engaging students In STEM education. *Science Education International*, 25(3), 246-258.

Lagzi I., Meszaros, R., Gelybo, G. & Leelossy, A. (2013). *Atmospheric Chemistry*. Eötvös Loránd University.

Langdon, D., McKittrick, G., Beede, D., Khan, B. & Doms, M. (2011). *STEM: Good jobs now and for the future*. Department of Commerce Economics and Statistics Administration. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/292321547_STEM_Good_jobs_now_and_for_the_future/link/58a5ba54aca27206d98d8fca/download on 1/12/2021.

Lantz, H. (2009). *Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education What Form? What Function? What is STEM Education?* Retrieved from: <https://dornsife.usc.edu/assets/sites/1/docs/jep/STEMEducationArticle.pdf> on 3/2/2022.

Mayes, R. & Gallant, B. (2018). The 21st Century STEM Reasoning. *US-China Education Review B*, 8(2), 67-74.

Morrison, J. (2006). *TIES STEM Education Monograph Series. Attributes of STEM Education. The Student The School The Classroom*. Baltimore: TIES.

NASA Earth Observatory (2011). *Ozone Hole through the years*. Retrieved from: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/49040/ozone-hole-through-the-years> on 1/2/2022.

NASA Earth Observatory (2021a). *World of Change: Antarctic Ozone Hole*. Retrieved from: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/ozone.php> on 1/2/2022.

NASA Earth Observatory (2021b). *World of Change: Global Temperatures*. Retrieved from: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures> on 1/2/2022.

NASA Earth Observatory (2021c). *2021 Antarctic Ozone Hole 13th-Largest, Will Persist into November*. Retrieved from: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/2021-antarctic-ozone-hole-13th-largest-will-persist-into-november> on 1/2/2022.

National Aeronautics and Space Administration (2012). *Nasa fy 2012 budget estimates, education*. Retrieved from: http://www.nasa.gov/pdf/516643main_NASA_FY12_Budget_EstimatesEducation.pdf on 1/2/2022.

National Academy of Engineering and National Research Council (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. Washington: National Academies Press.

National Governors Association (NGA) (2007). *Innovation America: Building a science, technology, engineering and math agenda*. Washington, D.C.: National Governors Association Center for Best Practices.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*, Paris: OECD Publishing.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2003). *THE PISA 2003 Assessment Framework – Mathematics, Reading, Science and Problem Solving, Knowledge and Skills*. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development.

Rico, A., Agirre-Basurko, E., Ruiz-González, A., Palacios-Agundez, I. & Zuazagoitia, D. (2021). Integrating Mathematics and Science Teaching in the Context of Education for Sustainable Development: Design and Pilot Implementation of a Teaching-Learning Sequence about Air Quality with Pre-Service Primary Teachers. *Sustainability*, 13(4500), 1-21.

Sahin, A. (2013). STEM Project-Based Learning: Specialized form of inquiry-based learning. In R.M. Caprano, M.M. Caprano & J. Morgan (Eds), *STEM project-based learning an*

integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) Approach (pp. 59-64). Rotterdam: Sense Publishers.

Sanders, M. (2009). STEM, STEM education stemania. *Education*, 68(4), 20–27.

Scientix (2015). *Scientix 2 Results. How Scientix adds value to STEM education*, Brussels: European Schoolnet.

Smith, K.A., Douglas, T.C. & Cox, M.F. (2009). Supportive Teaching and Learning Strategies in STEM Education. *New Directions for Teaching and Learning*, 117, 19-32.

STEM Task Force Report (2014). *Innovate: A blueprint for science, technology, engineering, and mathematics in California public education*. Dublin, California: Californians Dedicated to Education Foundation. Retrieved from: <https://www.cde.ca.gov/pd/ca/sc/documents/innovate.pdf> on 3/12/2021.

Stohlmann, M., Moore, T.J. & Roehrig, G.H. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 2(1), 28-34.

TeachEngineering (2022). *Acid rain effects*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=s9kAiph27aI> on 3/12/2021.

The Concord Consortium (2018). *Factors that Affect Air Quality*. Retrieved from <https://has.concord.org/air-pollution.html> on 1/3/2022.

Vilorio, D. (2014). STEM 101: Intro to tomorrow's jobs. *Occupational Outlook Quarterly*, 58(1), 2–12.

White, D. (2014). What Is STEM Education and Why Is It Important? *Florida Association of Teacher Educators Journal*, 1, 1-9.

Παράρτημα

Φύλλο Εργασίας - Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Όνοματεπώνυμο:

Δραστηριότητα 1

Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μεταβείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=el>

Από τις «Επιλογές» ρυθμίστε το θερμόμετρο σε βαθμούς Κελσίου.

A. Επιλέξτε την καρτέλα «Φαινόμενο θερμοκηπίου».

- Στο πλαίσιο «Συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου» επιλέξτε «Καθόλου».

Πόσους βαθμούς Κελσίου (°C) είναι η θερμοκρασία της γης;

.....

- Στο πλαίσιο «Συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου» επιλέξτε «Πολύ».

Πόσους βαθμούς Κελσίου (°C) είναι η θερμοκρασία της γης;

.....

- Τι παρατηρείτε για τη συγκέντρωση των υπέρυθρων φωτονίων που εκπέμπει η γη σε κάθε περίπτωση;

.....

.....

- Να περιγράψετε τον μηχανισμό δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

.....

.....

- Ποια θερμοκρασία είναι κατάλληλη για την ύπαρξη και τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη;

.....

B. Στο πλαίσιο «Η ατμόσφαιρα» επιλέξτε «1750».

- Πόσους βαθμούς Κελσίου (°C) είναι η θερμοκρασία της γης;

.....

- Στο πλαίσιο «Η ατμόσφαιρα» επιλέξτε «Σήμερα».

Πόσους βαθμούς Κελσίου (°C) είναι η θερμοκρασία της γης;

.....

- Τι παρατηρείτε για τη συγκέντρωση των υπέρυθρων φωτονίων που εκπέμπει η γη σε κάθε περίπτωση;

.....

.....

- Ποια αέρια είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου;

.....

.....

- Ποια η συγκέντρωση των αερίων που ευθύνονται για τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου α. το 1750 και β. σήμερα; Τι παρατηρείτε;

.....

.....

Δραστηριότητα 2

Παραμένετε στην ίδια ηλεκτρονική διεύθυνση. Επιλέξτε την καρτέλα «Στρώματα γυαλιού».

- Από τις «Επιλογές» πλήθος υαλοπινάκων επιλέξτε 0, 1 και 2 υαλοπίνακες.

Τι παρατηρείτε για την πορεία των υπέρυθρων φωτονίων που επανεκπέμπονται από τη γη σε κάθε περίπτωση;

.....

.....

.....

- Στον ακόλουθο πίνακα συμπληρώστε τη θερμοκρασία που εμφανίζεται στο θερμόμετρο όταν τοποθετηθούν 0, 1 ή 2 υαλοπίνακες. Τι παρατηρείτε;

Πλήθος Υαλοπινάκων	Θερμοκρασία (°C)
0	
1	
2	

.....

.....

.....

- Να περιγράψετε τον τρόπο λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

.....

.....

.....

Δραστηριότητα 3

Παραμένετε στην ίδια ηλεκτρονική διεύθυνση. Επιλέξτε την καρτέλα «Απορρόφηση φωτονίων».

- Αφού τοποθετήσετε τον δείκτη της λάμπας στη δεξιά του θέση, επιλέξτε το «ορατό φωτόνιο». Επιλέξτε έπειτα από το πλαίσιο «Ατμοσφαιρικά αέρια» διαδοχικά το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό (υδρατμοί), το άζωτο και το οξυγόνο.

Ποια αέρια αλληλεπιδρούν με τα ορατά φωτόνια;

.....
.....

- Επιλέξτε το «υπέρυθρο φωτόνιο». Επιλέξτε έπειτα από το πλαίσιο «Ατμοσφαιρικά αέρια» διαδοχικά το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό (υδρατμοί), το άζωτο και το οξυγόνο.

Ποια αέρια αλληλεπιδρούν με τα υπέρυθρα φωτόνια;

.....
.....

Δραστηριότητα 4

Να εκτελέσετε το ακόλουθο πείραμα αξιοποιώντας καθημερινά υλικά.

Έχετε στη διάθεσή σας ανά ομάδα δύο γυάλινα δοχεία, δύο θερμομέτρα και δύο λάμπες υπέρυθρου φωτός.

Αφού τοποθετήσετε ένα θερμομέτρο σε κάθε δοχείο, καλύπτετε με μεμβράνη το ένα από αυτά και φωτίζετε κάθε δοχείο με μια λάμπα.

Τι αποτελέσματα αναμένετε;

.....
.....
.....

Να κατασκευάσετε έναν πίνακα τιμών καταγράφοντας τη θερμοκρασία κάθε θερμομέτρου συναρτήσει του χρόνου.

ΔΟΧΕΙΟ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ		ΔΟΧΕΙΟ ΧΩΡΙΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗ	
ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
1 λεπτό			
2 λεπτά			
3 λεπτά			
4 λεπτά			
5 λεπτά			
6 λεπτά			
7 λεπτά			
8 λεπτά			

Να κατασκευάσετε το διάγραμμα θερμοκρασίας - χρόνου σε ένα λογιστικό φύλλο Excel με τις τιμές του προηγούμενου πίνακα. Να συγκρίνετε τις δύο γραφικές παραστάσεις.

.....

Δραστηριότητα 5

Μεταβείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures>

Αφού παρακολουθήσετε το βίντεο προσομοίωσης να περιγράψετε τη μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη με την πάροδο του χρόνου. Ποιοι παράγοντες πιστεύετε ότι ευθύνονται για την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας;

.....

Δραστηριότητα 6

Να αναφέρετε τρόπους περιορισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου.

.....

Δραστηριότητα 7

Να κατασκευάσετε έναν εννοιολογικό χάρτη με το πρόγραμμα power point με τις αιτίες, τις επιπτώσεις και τους τρόπους περιορισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Φύλλο Εργασίας - Εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος

Όνοματεπώνυμο:

Δραστηριότητα 1

Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μεταβείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<http://photodentro.edu.gr/aggregator/lo/photodentro-lor-8521-2412>

Αφού παρακολουθήσετε το βίντεο να περιγράψετε τον τρόπο σχηματισμού του όζοντος.

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 2

Μεταβείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<http://photodentro.edu.gr/aggregator/lo/photodentro-lor-8521-1512>

Αφού παρακολουθήσετε το βίντεο να περιγράψετε τη διαδικασία της διάσπασης των χλωροφθορανθράκων.

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 3

Μεταβείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/ozone.php>

Αφού παρακολουθήσετε το βίντεο προσομοίωσης να περιγράψετε την εξέλιξη της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος με την πάροδο του χρόνου. Ποιοι παράγοντες πιστεύετε ότι επιδρούν στην ενίσχυση του φαινομένου;

.....
.....

Δραστηριότητα 4

Να καταγράψετε τις ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν από τον άνθρωπο προκειμένου να σημειωθεί περιορισμός της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 5

Να κατασκευάσετε έναν εννοιολογικό χάρτη με το πρόγραμμα power point με τις αιτίες, τις επιπτώσεις και τους τρόπους περιορισμού της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος.

Φύλλο Εργασίας - Όξινη βροχή

Όνοματεπώνυμο:

Δραστηριότητα 1

Να εκτελέσετε το ακόλουθο πείραμα αξιοποιώντας καθημερινά υλικά.

Έχετε στη διάθεσή σας τρία δοχεία με διαφορετικά υγρά (νερό βρύσης, ξύδι και χυμό λεμονιού), τρεις κιμωλίες, ένα καρφί και πεχαμετρικό χαρτί.

Χρησιμοποιήστε το πεχαμετρικό χαρτί για να προσδιορίσετε το pH κάθε υγρού.

Κατατάξτε σε αύξουσα σειρά το pH κάθε υγρού:

.....
.....

Τι υποθέτετε ότι θα συμβεί στην κιμωλία όταν τοποθετηθεί σε κάθε ένα από τα υγρά αυτά;

.....
.....

Αφού χαράξετε με το καρφί τις κιμωλίες, τοποθετήστε μία κιμωλία σε κάθε δοχείο για 20 λεπτά. Αφαιρέστε τις κιμωλίες. Τι παρατηρείτε σε κάθε κιμωλία;

.....
.....

Οι παρατηρήσεις σας επιβεβαιώνουν ή όχι τις αρχικές σας υποθέσεις;

.....
.....

Δραστηριότητα 2

Στον ηλεκτρονικό υπολογιστή να παρακολουθήσετε το βίντεο:

<https://www.youtube.com/watch?v=s9kAiph27aI>

Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα της επίδρασης του νερού και του ξυδιού στο φύλλο δέντρου, στο τσόφλι αυγού και στον μεταλλικό συνδετήρα.

.....
.....

Τι διαπιστώσεις μπορείτε να κάνετε για τις επιπτώσεις της όξινης βροχής στο περιβάλλον;

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 3

Να παρακολουθήσετε το βίντεο: <https://www.youtube.com/watch?v=TAjn7mWgqpo>

Ποια αέρια είναι υπεύθυνα για τον σχηματισμό της όξινης βροχής;

.....
.....

Ποιες ανθρώπινες δραστηριότητες θεωρείτε ότι ευθύνονται για τον σχηματισμό της όξινης βροχής;

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 4

Ποιες ανθρώπινες ενέργειες - δράσεις μπορούν να συνεισφέρουν στον περιορισμό της όξινης βροχής;

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 5

Να κατασκευάσετε έναν εννοιολογικό χάρτη με το πρόγραμμα bubbl.us με τις αιτίες, τις επιπτώσεις και τους τρόπους περιορισμού του φαινομένου της όξινης βροχής.

Φύλλο Εργασίας - Φωτοχημικό νέφος

Όνοματεπώνυμο:

Δραστηριότητα 1

Μεταβείτε στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://has.concord.org/air-pollution.html>

Να διερευνήσετε για όλες τις παραμέτρους και συγκεκριμένα για τον άνεμο, τη θερμοκρασία, την ηλιοφάνεια, τη βροχή αλλά και για τον αριθμό των συμβατικών αυτοκινήτων, των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και τον αριθμό των εργοστασίων, την ποσότητα των πρωτογενών και των δευτερογενών ρύπων όπως αυτή εμφανίζεται στο διάγραμμα. Σε ποια περίπτωση παράγεται η μικρότερη και σε ποια περίπτωση παράγεται η μεγαλύτερη ποσότητα πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων;

.....
.....
.....

Δραστηριότητα 2

Επισκεφθείτε την ηλεκτρονική διεύθυνση: <https://ypen.gov.gr/perivallon/poiotita-tis-atmosfairas/>

Μεταβείτε στον δυναμικό χάρτη με τις μετρήσεις της ποιότητας της ατμόσφαιρας της Αττικής.

Να επιλέξετε διαδοχικά καθένα από τους ρύπους και να καταγράψετε τη συγκέντρωση του κάθε ρύπου σε κάθε πόλη της Αττικής στην οποία γίνεται η μέτρηση.

.....
.....
.....

Να κατασκευάσετε στο Excel ένα διάγραμμα (ραβδόγραμμα) της συγκέντρωσης κάθε ρύπου που ευθύνεται για το φωτοχημικό νέφος σε κάθε πόλη της Αττικής.

Δραστηριότητα 3

Με ποιους τρόπους μπορεί να περιοριστεί το φωτοχημικό νέφος;

.....
.....

Δραστηριότητα 4

Να κατασκευάσετε έναν εννοιολογικό χάρτη με το πρόγραμμα `bubbl.us` με τις αιτίες, τις επιπτώσεις και τους τρόπους περιορισμού του φωτοχημικού νέφους.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.