



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μ.Π.Σ: ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

<<Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους αθλητές αντοχής>>

Όνομα: Κοσκινάς Ν. Γεώργιος

A.M.: std144974

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας:

Επιβλέπων Α: Μαυροειδής Ηλίας

Επιβλέπων Β: Γιαννακόπουλος Ευάγγελος

ΚΕΡΚΥΡΑ 2022

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο 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 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 συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου προς τον καθηγητή μου κ. Μαυροειδή Ηλία για την επίβλεψη και την καθοδήγηση που μου προσέφερε στην διάρκεια της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την σύντροφο μου για την υπομονή και την αμέριστη συμπαράσταση που έδειξαν κατά την διάρκεια όχι μόνο της διπλωματικής εργασίας, αλλά και ολόκληρου του μεταπτυχιακού προγράμματος. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Γκίωσο Ιωάννη και Σταύρου Νεκτάριο, για την πολύτιμη βοήθεια που μου έδωσαν όσο αναφορά την ανάπτυξη της κλίμακας και την παραγοντική ανάλυση της. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους αθλητές, ερασιτέχνες και επαγγελματίες, που συμμετείχαν στην έρευνα και συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο που τους δόθηκε.

## Περίληψη

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα σύγχρονο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η ανθρώπινη κοινωνία και δημιουργεί πολλές δυσκολίες και προβλήματα στην καθημερινότητα μας. Ειδικά για τους αθλητές αντοχής, η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλεί, πέρα από τα προφανή προβλήματα υγείας, μειωμένη ικανότητα απόδοσης στις προπονήσεις και τους αγώνες στους οποίους συμμετέχουν. Οι σημαντικότερες δυσκολίες που αντιμετωπίζουν είναι δυσκολία στην αναπνοή, αυξημένους καρδιακούς παλμούς, βήχα ή αναπνευστικά προβλήματα και ενοχλήσεις στα μάτια και την μύτη. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία μιας ψυχομετρικής κλίμακας η οποία θα εκτιμά την όχληση που νιώθουν οι ερασιτέχνες αθλητές αντοχής (τρίαθλο, ποδηλασία, τρέξιμο, κολύμβηση) κατά την διάρκεια της άθλησης τους κάτω από συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για τον σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε ένα ερωτηματολόγιο το οποίο, στο αρχικό προπαρασκευαστικό στάδιο, χορηγήθηκε σε είκοσι πέντε (25) ερασιτέχνες αθλητές αντοχής. Στη συνέχεια, η κλίμακα χορηγήθηκε σε διακόσιους ενενήντα δύο (292) ερασιτέχνες αθλητές αντοχής με σκοπό να πραγματοποιηθεί η διερευνητική πειραματική ανάλυση. Η διερευνητική παραγοντική ανάλυση έδειξε την ύπαρξη τριών (3) παραγόντων, οι οποίοι εξηγούσαν το 37.111 % της συνολικής διακύμανσης. Για τον πρώτο παράγοντα «Σωματική δυσφορία» προέκυψαν εννέα (9) ερωτήματα. Για τον δεύτερο παράγοντα «Απουσία δυσφορίας» προέκυψαν πέντε (5) ερωτήματα, ενώ για τον τρίτο παράγοντα «Γενική δυσφορία» προέκυψαν έξι (6) ερωτήματα. Ο βαθμός αξιοπιστίας των τριών παραγόντων κρίθηκε επαρκής, αφού ο συντελεστής Cronbach's  $\alpha$  είχε τιμή .841 για τον πρώτο παράγοντα, .642 για τον δεύτερο παράγοντα και .766 για τον τρίτο παράγοντα. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), πολυμεταβλητή ανάλυση διακύμανσης (MANOVA) και ο συντελεστής  $r$  του Pearson, με σκοπό την εμφάνιση συσχετίσεων ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές και τις απαντήσεις που έδωσαν οι συμμετέχοντες. Παρατηρήθηκε συσχέτιση ανάμεσα στην όχληση από την ατμοσφαιρική ρύπανση και τον τόπο κατοικίας, καθώς και την παρουσία ή όχι αλλεργιών. Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στο φύλο, το άθλημα, τις ώρες άθλησης, την παρουσία ή όχι αναπνευστικών προβλημάτων και του καπνίσματος. Συμπερασματικά, η κλίμακα μπορεί να χαρακτηριστεί ως έγκυρη και αξιόπιστη.

## **Abstract**

Air pollution is a contemporary issue that our society has to deal with and it affects many aspects of people's daily life. Especially to endurance athletes air pollution can cause, apart from the common health issues, reduced performance capacity during training and races as well. The most significant inconvenience that these athletes have to deal with can be breathing difficulty, increased heart rate, cough or respiratory problems and eye or nose discomfort. The aim of this assignment is to create a psychometric scale that will estimate the amount of discomfort that amateur endurance athletes feel (triathlon, cycling, running, swimming) during their training under conditions of increased air pollution. For this particular reason, a questionnaire was conducted, which in the initial preparatory stage was provided to twenty five (25) amateur endurance athletes. Afterwards, the full psychometric scale was provided to two hundred and ninety-two (292) amateur endurance athletes in order for the exploratory factor analysis to be carried out. The exploratory factor analysis indicated three (3) factors accounting for 37.111% of the overall variance. For the first factor "Physical discomfort" nine (9) questions occurred. For the second factor "Lack of discomfort" five (5) questions occurred and for the third factor "General discomfort" six (6) questions occurred. The reliability degree of the factors was considered sufficient since the Cronbach's  $\alpha$  coefficient was .841 for the first factor, .642 for the second and .766 for the third factor. Subsequently, fluctuation analysis (ANOVA), multivariate fluctuation analysis (MANOVA) and Pearson's  $r$  coefficient were used with the aim to indicate correlations between the independent variables and the answers provided by participants. Correlation between discomfort due to air pollution and residence as well as the presence or absence of allergies was indicated. On the other hand, there was no significant statistical difference between gender, sport, the volume of training, the presence or not of respiratory problems and smoking. In conclusion, the scale can be considered both valid and reliable.

## Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Σημαντικότητα του θέματος.....	8
1.2 Σκοπός της εργασίας.....	9
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	10
<b>2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....</b>	<b>11</b>
2.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	11
2.2 Πηγές προέλευσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	12
2.2.1 Φυσικές πηγές.....	13
2.2.2 Ανθρωπογενής πηγές.....	14
2.3 Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι.....	20
2.3.1 Μονοξείδιο του άνθρακα.....	22
2.3.2 Διοξείδιο του θείου.....	24
2.3.3 Οξείδια του αζώτου.....	26
2.3.4 Πτητικές οργανικές ενώσεις.....	27
2.3.5 Όζον.....	28
2.3.6 Αιωρούμενα σωματίδια.....	29
2.4 Φαινόμενα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση.....	31
2.4.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	31
2.4.2 Κλιματική αλλαγή.....	32
2.4.3 Τρύπα του όζοντος.....	33
2.4.4 Όξινη βροχή.....	33
<b>3. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....</b>	<b>35</b>
3.1 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους ανθρώπους.....	35
3.2 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους αθλητές.....	38
3.3 Όχληση εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	41
3.4 Σύνοψη σχετικών ερευνών.....	43
<b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>44</b>
4.1 Σκοπός.....	44
4.2 Μέθοδος δειγματοληψίας και συμμετέχοντες.....	44
4.3 Μέσο συλλογής δεδομένων – Ανάπτυξη κλίμακας.....	45
4.4 Διαδικασία ανάπτυξης και χορήγησης ερωτηματολογίου.....	46
4.5 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης.....	49

4.5.1 Προκαταρκτικοί έλεγχοι της παραγοντικής ανάλυσης.....	49
4.5.2 Δομική εγκυρότητα του ερωτηματολογίου / όργανα μέτρησης.....	49
4.5.3 Εσωτερική συνέπεια και αξιοπιστία ερωτηματολογίου.....	50
<b>5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>51</b>
5.1 Εγκυρότητα του ερωτηματολογίου – Διερευνητική παραγοντική ανάλυση.....	51
5.2 Αξιοπιστία του ερωτηματολογίου.....	53
<b>6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>57</b>
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>61</b>
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	75

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σημαντικότητα του θέματος

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη σύγχρονη κοινωνία και οι επιπτώσεις της στον άνθρωπο και στο περιβάλλον είναι τεράστιες. Οι ρύποι στην ατμόσφαιρα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας αν βρεθούν σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις, αλλά ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις προκαλούν έντονο το αίσθημα της όχλησης σε όποιον έρχεται σε επαφή μαζί τους. Με τον όρο όχληση, εννοείται η δυσκολία στην αναπνοή, το τσουξίμο στα μάτια, την μύτη, ο βήχας, πονοκέφαλος και άλλες αντιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού, καθώς και ψυχολογική πίεση, όπως μειωμένη όρεξη, αίσθημα αδιαθεσίας και άλλα. Επιπλέον, όχληση εξαιτίας θορύβων που προκαλούνται από την κίνηση οχημάτων, αεροπλάνων και γενικά πομπούς ήχων μέσα σε μια πόλη, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ποιότητα ύπνου. (Shepherd D., Dirks K., Welch D., McBride D., Landon J., 2016)

Ενώ τα παραπάνω ισχύουν γενικά για το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, στους αθλητές τα παραπάνω συμπτώματα δυσχεραίνουν ακόμα περισσότερο τις δραστηριότητές τους. Είτε πρόκειται για επαγγελματίες αθλητές, οι οποίοι ψάχνουν τις ιδανικότερες συνθήκες με σκοπό την οποιαδήποτε παραμικρή βελτίωση στις επιδόσεις τους, είτε για ερασιτέχνες που προπονούνται και γυμνάζονται με σκοπό την σωματική και ψυχική τους υγεία, είναι σημαντικό να μπορούν να συνεχίσουν να αθλούνται χωρίς την όχληση που δημιουργείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι αθλητές των αθλημάτων αντοχής είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα αθλητών που έρχονται σε επαφή με ρυπασμένο αέρα αρκετά συχνά. Τέτοιοι είναι οι δρομείς, οι ποδηλάτες, τριαθλητές και άλλοι, οι οποίοι προπονούνται συχνά στον δρόμο, αρκετές φορές σε δρόμους με αυξημένη κίνηση και κατ' επέκταση έρχονται συχνά σε επαφή με υψηλά επίπεδα ρύπων.

Η γενικότερη οδηγία προς το γενικό πληθυσμό είναι να αποφεύγουν δρόμους με αυξημένη κίνηση, όποτε αυτό είναι δυνατό, και το ίδιο ισχύει και για τους αθλητές, όπου συχνά τους συνίσταται από τους προπονητές τους να γυμνάζονται είτε σε στάδια, είτε εντός σπιτιού ή γυμναστηρίου, ακόμα και σε βουνά και γενικά πιο απομακρυσμένα από κίνηση σημεία. (Cruz et al., 2021, Rundell et al., 2015).



Το ψυχολογικό κομμάτι της όχλησης για τους αθλητές είναι εξαιρετικά σημαντικό, ίσως σε μικρότερο βαθμό για τους επαγγελματίες αθλητές, οι οποίοι δεσμεύονται από συμβόλαια, χορηγούς και λοιπά και σε πολλές περιπτώσεις δεν έχουν την επιλογή να αποφύγουν ή να προσπεράσουν μια προπόνηση ή έναν αγώνα. Αντίθετα, για τους ερασιτέχνες αθλητές, όπου προπονούνται γιατί αυτό είναι το χόμπι τους, είναι σημαντικό να νιώθουν καλά και να ευχαριστιούνται αυτό που κάνουν, χωρίς να νιώθουν πίεση ή ενόχληση από εξωτερικούς παράγοντες όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση.

## 1.2 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας ψυχομετρικής κλίμακας, η οποία θα εκτιμά την όχληση που νιώθουν οι ερασιτέχνες αθλητές αντοχής (τρίαθλο, ποδηλασία, τρέξιμο, κολύμβηση) κατά την διάρκεια της άθλησης τους κάτω από συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Για την ανάπτυξη της κλίμακας, χρησιμοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο χορηγήθηκε σε ερασιτέχνες αθλητές αντοχής σε όλη την Ελλάδα και στη συνέχεια η κλίμακα ελέγχθηκε ως προς εγκυρότητα και την αξιοπιστία. Για τους παραπάνω ελέγχους, θα πραγματοποιηθεί διερευνητική ανάλυση παραγόντων (exploratory factor analysis), έλεγχος εσωτερικής συνοχής (Cronbach's alpha reliability), έλεγχος των συσχετίσεων μεταξύ των ερωτημάτων κάθε κλίμακας (inter-item correlations) και έλεγχος των διορθωμένων συσχετίσεων του κάθε ερωτήματος με την συνολική τιμή της κλίμακας (corrected item-total correlations).

Η εξαρτημένη μεταβλητή θα είναι το συνολικό σκορ των απαντήσεων του ερωτηματολογίου ανά παράγοντα, ενώ ως ανεξάρτητες μεταβλητές θα χρησιμοποιηθούν το φύλο, η ηλικία, ο τόπος κατοικίας, το βασικό άθλημα, οι ώρες προπόνησης, το κάπνισμα και η παρουσία αλλεργιών ή αναπνευστικών προβλημάτων. Με βάση τα παραπάνω, θα μελετηθεί συσχέτιση ανάμεσα στις παραπάνω ανεξάρτητες μεταβλητές και την αυξημένη παρουσία όχλησης. Έτσι, θα μπορέσουν να επιβεβαιωθούν παλιότερες θεωρίες που προκύπτουν από την διεθνή βιβλιογραφία. Τα βασικά ερωτήματα της εργασίας είναι: (α) Ποια τα ερωτήματα που πρέπει να εμπεριέχει ένα όργανο αποτίμησης της αντιληπτής όχλησης εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τους αθλητές, (β) ποια είναι η αξιοπιστία του συγκεκριμένου ψυχομετρικού οργάνου και (γ) ποια είναι η εγκυρότητα αυτού.

### 1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά (7) κεφάλαια, στα οποία γίνεται η θεωρητική προσέγγιση του ζητήματος, καθώς και η περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της κλίμακας. Στο πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή της εργασίας, ενώ στο δεύτερο γίνεται μια εις βάθος προσέγγιση στην ατμοσφαιρική ρύπανση, με περιγραφή των σημαντικότερων ρύπων και φαινομένων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάπτυξη των κυριότερων επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους ανθρώπους και γενικότερο στο περιβάλλον, καθώς και πιο συγκεκριμένα στους αθλητές. Στο κεφάλαιο τέσσερα, γίνεται παρουσίαση της μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της κλίμακας, ενώ στο κεφάλαιο πέντε γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων των στατιστικών ελέγχων. Τέλος, στο κεφάλαιο έξι γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων των στατιστικών ελέγχων και πως αυτά συμβαδίζουν με την διεθνή βιβλιογραφία, ενώ στο κεφάλαιο επτά παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την εργασία και προτάσεις για μελλοντικές εργασίες. Η εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση των βιβλιογραφικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την συγγραφή της.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 2.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Για να ορίσουμε τι είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, πρέπει πρώτα να ορίσουμε τι είναι ατμόσφαιρα. Έτσι, ατμόσφαιρα λέμε το μείγμα αερίων που περιβάλλον τον πλανήτη Γη. Αποτελείται από διαφορετικά στρώματα, τα οποία διαχωρίζονται με βάση την χημική τους σύσταση και τις θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις. Το πρώτο στρώμα που συναντάμε ξεκινώντας από το έδαφος, ονομάζεται τροπόσφαιρα και είναι ο χώρος στον οποίο εμφανίζονται τα περισσότερα φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μέσα στην τροπόσφαιρα υπάρχουν τα σύννεφα και εμφανίζονται φαινόμενα όπως βροχής και χιονοπτώσεις. Το πάχος της τροπόσφαιρας μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή και κυμαίνεται από 8 χμ στους πόλους μέχρι τα 17 χμ στον ισημερινό. Εκτός από την τροπόσφαιρα υπάρχουν και άλλα στρώματα. Αυτά είναι η στρατόσφαιρα, που φτάνει μέχρι περίπου τα 50 χμ πάχος, η μεσόσφαιρα μέχρι τα 80-90 χμ πάχος και η ιονόσφαιρα που αποτελεί το σύνορο της ατμόσφαιρας με το διάστημα.

Η ατμόσφαιρα αποτελείται από μεγάλο πλήθος αερίων, με κύριο συστατικό το άζωτο, που αποτελεί το 78,1% της κατ' όγκο. Το οξυγόνο έχει συγκέντρωση κατ' όγκο 20,9%, το αργό 0,93% και από εκεί και πέρα το υπόλοιπο 0,07% αποτελείται από άλλα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο καθώς και ευγενή αέρια όπως το ήλιο, κρυπτόν, νέον και ξέnon.

Ως ατμοσφαιρική ρύπανση, ορίζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ουσιών που διαταράσσουν τις παραπάνω συγκεντρώσεις και μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και τα υλικά αγαθά. Οι ουσίες αυτές έχουν κατά κύριο λόγο ανθρωπογενή προέλευση, παράγονται δηλαδή μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι ουσίες αυτές, όπως θα αναλυθεί και λεπτομερέστερα παρακάτω, είναι κατά συντριπτικό ποσοστό τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και οξειδία του θείου ( $\text{SO}_x$ ), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι οργανικοί πτητικοί υδρογονάνθρακες (VOC), το όζον ( $\text{O}_3$ ), τα αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{A}\Sigma_{2,5}$  και  $\text{A}\Sigma_{10}$ ) και ο μόλυβδος (Pb).

## 2.2 Πηγές προέλευσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Οι παραπάνω ρύποι που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα, καταλήγουν εκεί μετά από συγκεκριμένες διεργασίες και προέρχονται από διάφορες πηγές. Οι πηγές αυτές διαχωρίζονται σε πηγές φυσικής προέλευσης και πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης. Ένας άλλος τρόπος διαχωρισμού είναι με βάση τον ρυθμό ρύπανσης, σε πηγές συνεχούς ρύπανσης και πηγές στιγμιαίας εκπομπής. Τέλος, διαχωρίζονται με βάση την γεωμετρία, σε σημειακές πηγές και σε μη σημειακές.

Σημειακές είναι οι πηγές που είναι καλά ορισμένες στον χώρο, είναι συνήθως μοναδικές και μεγάλες. Ένα παράδειγμα σημειακής πηγής μπορεί να είναι η έξοδος ενός βιολογικού καθαρισμού μιας πόλης ή ένας αγωγός εκροής αποβλήτων ενός εργοστασίου. Ο προσδιορισμός των σημειακών πηγών εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων είναι πιο δύσκολος από ότι φαίνεται, καθώς σπάνια πρόκειται για μια μοναδική σημειακή πηγή, αλλά συνήθως πρόκειται για σύστημα πολλών πηγών που εκπέμπουν ταυτόχρονα. Τέτοιες μπορεί να είναι τα αυτοκίνητα σε έναν αυτοκινητόδρομο, ή οι καμινάδες από τα συστήματα θέρμανσης κατοικιών και κτηρίων.

Για τον καλύτερο και πιο ολοκληρωμένο σχεδιασμό της αντιμετώπισης της ρύπανσης, έχουν αναπτυχθεί πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμοι, που λαμβάνουν υπόψη τους όλα τα δεδομένα από τις σημειακές πηγές και φτιάχνουν ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο πρόβλεψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. (Wang J., Liu J., Wang B., Cheng W., Zhang J., 2021)

Μη σημειακές πηγές είναι εκείνες που είναι διάχυτες στον χώρο, καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις και συνήθως αποτελούν σύστημα μικρότερων σημειακών πηγών. Οι μη σημειακές πηγές, αποτελούν κατά βάση μεγαλύτερο πρόβλημα σε σχέση με τις σημειακές για το περιβάλλον και σε ορισμένες χώρες όπως η Κίνα, αποτελούν από τα πιο σημαντικά προβλήματα προς λύση, όσο αναφορά την προστασία του περιβάλλοντος. (Shen P., Yang L., Guo Z., Liu Z., 2013) Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι οι απορροές μιας καλλιέργειας και η αστική απορροή όμβριων υδάτων. (Σερέτη ,2019)

Οι απορροές μιας καλλιέργειας προκύπτουν είτε από τα νερά ποτίσματος, ή από το νερό της βροχής. Και στις δύο περιπτώσεις, το νερό παρασέρνει κομμάτια χρώματος και φυτών που περιέχουν ρύπους από φυτοφάρμακα και ενισχυτικά λιπάσματα. Έτσι, τα νερά εμπλουτίζονται με ρύπους και θρεπτικά συστατικά όπως φώσφορος και άζωτο, αλλά και αμμωνία. (Ahmad Z., Sanin M., Lian Q., Zappi M., Gang D., 2017)

Η αστική απορροή όμβριων υδάτων, πρόκειται για την διαδικασία κατά την οποία, το νερό της βροχής που πέφτει σε ένα αστικό περιβάλλον, παρασέρνει σκόνες και άλλους σωματιδιακούς ρύπους που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ή στο έδαφος. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ουσιών που παρασέρνονται είναι στερεά σωματίδια και βαρέα μέταλλα, όπως μαγγάνιο, ψευδάργυρος και σίδηρος. (Ahmad et al, 2017)

Ακριβώς επειδή οι μη σημειακές πηγές είναι πιο πολύπλοκες στη μελέτη από τις σημειακές, καθώς καταλαμβάνουν μεγαλύτερες διαστάσεις και δεν έχουν καλά ορισμένα όρια, έχει προταθεί η λύση της δημιουργίας ζωνών ρύπανσης σε κάθε εκάστοτε περιοχή μελέτης. Έτσι, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί καλύτερα η ρύπανση σε κάθε περιοχή με αυξημένη ρύπανση και κατ' επέκταση, μπορεί να αντιμετωπιστεί πολύ πιο αποτελεσματικά. (Yu J., Hong S., Long H., 2020)

### **2.2.1 Φυσικές πηγές**

Φυσικές πηγές προέλευσης ρύπων είναι εκείνες που αποθέτουν ρύπους στην ατμόσφαιρα, χωρίς πάντως να ευθύνεται ο άνθρωπος. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι τα ηφαίστεια, καθώς μέσω των εκρήξεων τους, εκλύονται στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του θείου, μεθανίου, υδρόθειου και αιωρούμενων σωματιδίων. Οι ωκεανοί και γενικά οι θαλάσσιες εκτάσεις, αποθέτουν μεγάλες ποσότητες χλωριούχου νατρίου και άλλων αλάτων μέσω των αεροζόλ. Σε αναλύσεις που έχουν γίνει στην λίμνη Βαϊκάλη στη Ρωσία, βρέθηκε ότι στα θερμά ύδατα των πηγών κοντά στη λίμνη, παράγονται σημαντικά μεγαλύτερες ποσότητες διοξειδίου του θείου, νατρίου, χλωρίου και φθορίου σε σχέση με το νερό της λίμνης. Επιπλέον, παράγονται μεγαλύτερες ποσότητες αεροζόλ και διαλυμένων στερεών (Sklyarov E., Sklyarova O., Lavrenchuk A., Menhagin Y., 2015). Μέσω των πυρκαγιών, εκλύονται μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων σωματιδίων και μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος, η φυσική αποσύνθεση των φυτών και ζώων, η αποσάθρωση του εδάφους και γενικότερα τα φυτά και τα δέντρα εκλύουν υδρογονάνθρακες, αμμωνία και αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα.

Η ρύπανση που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, κατέχει αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό παροχής ρύπων στην ατμόσφαιρα, σε σχέση με τις φυσικές πηγές. Οι πηγές ανθρωπογενούς ρύπανσης έχουν να κάνουν κυρίως με τις διαδικασίες της παραγωγής ενέργειας, θέρμανσης, μεταφορών, και βιομηχανίας. Ανάλογα με τον τόπο, την εποχή και το είδος της εκάστοτε δραστηριότητας, ποικίλουν και οι ποσοτικές παραγωγές των ρύπων από τις δραστηριότητες αυτές.

### **2.2.2 Ανθρωπογενής πηγές**

#### **A) Βιομηχανίες**

Είναι σαφές πως οι ρύποι που παράγονται και εκλύονται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι πολλοί περισσότεροι από τους φυσικούς. Κατά γενικό κανόνα, όσο μεγαλύτερη είναι η βιομηχανική δραστηριότητα σε μια περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η εκπομπή ρύπων. Επιπλέον, η αυξημένη εκπομπή ρύπων, σχετίζεται άμεσα με την αστικοποίηση (Urbanization), καθώς περισσότερος κόσμος συγκεντρώνεται σε μια βιομηχανική περιοχή, εξαιτίας των αυξημένων θέσεων εργασίας (Guo J., Xu Y., Pu Z., 2016)

Στον τομέα της βιομηχανίας, μεγάλες μονάδες εργοστασίων ή βιοτεχνιών παράγουν προϊόντα από πρώτες ύλες ή μεταποιούν άλλα από μία κατάσταση σε μία άλλη. Οι παραπάνω διαδικασίες αφήνουν κατάλοιπα και παραπροϊόντα τα οποία αν δεν ανακτηθούν, και διατεθούν καταλλήλως ή αν δεν ανακυκλωθούν, τελικά καταλήγουν να ρυπαίνουν το περιβάλλον. Οι μεγαλύτεροι κλάδοι βιομηχανίας σε παραγωγή ρύπων είναι η χημική βιομηχανία, τα πλαστικά, τα χρώματα, η παραγωγή οξέων, η επεξεργασία πετρελαίου και γαιάνθρακα και οι μεταλλοβιομηχανίες.

Μέσω των βιομηχανιών παρασκευής χημικών, εκλύονται στην ατμόσφαιρα ποσότητες από τα ίδια τα προϊόντα το οποία παράγονται, ενδιάμεσα προϊόντα που εμφανίζονται κατά την διάρκεια της παραγωγής και τέλος υπολείμματα πρώτων υλών. Οι ουσίες είναι σε μορφή σωματιδίων, ατμών και αεροζόλ, ενώ πολλές φορές μπορεί να είναι τοξικές και επιβλαβείς για τον άνθρωπο.

Κατά την παραγωγή πλαστικών, ρητινών, βερνικιών και χρωμάτων, οι πρώτες ύλες περνούν από μια διαδικασία θέρμανσης, κάτι που σημαίνει πως εκλύονται αέρια τα οποία καταλήγουν στην ατμόσφαιρα. Κοινό χαρακτηριστικό των παραπάνω αερίων είναι οι έντονες μυρωδιές και η παρουσία σε αυτά ανηγμένων ενώσεων του θείου.

Επιπλέον, οι ουσίες αυτές είναι στην πλειονότητα τους εξαιρετικά επιβλαβής για τον άνθρωπο. (Vinshuradhan R., Lonappan A., Eldho T., 2022)

Κατά την παραγωγή οξέων (κυρίως νιτρικό  $\text{HNO}_3$ , θειικό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , φωσφορικό οξύ  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) εκλύονται στην ατμόσφαιρα μικρές ποσότητες από αυτά, σε μορφή αερίων. Επιπλέον, παραπροϊόντα της παραγωγής τους είναι ορισμένα οξείδια του αζώτου και του θείου όπως το  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{SO}_2$  και  $\text{SO}_3$ , τα οποία θεωρούνται ρυπαντές.

Όσο αναφορά το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα, παράγονται ρύποι, τόσο κατά την εξόρυξη τους, σε μορφή σκόνης και αερίων, όσο και κατά την μεταφορά και επεξεργασία τους. Κατά την καύση των παραπάνω, παράγονται αέρια και αιωρούμενα σωματίδια. Τέτοια είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, διάφοροι υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου και του θείου, βαρέα μέταλλα, όπως το βανάδιο, νικέλιο, κάδμιο και μόλυβδος και τέλος, οσμές. (Sikakwe G., Tyorine A., Eyong G., 2022)

Τέλος, μέσω των μεταλλοβιομηχανιών, παράγονται ρύποι σε μορφή σκόνης, καπνού, ατμών και μεταλλοξειδίων. Οι ρύποι αυτοί είναι τόσο ανόργανοι, όσο και οργανικοί, ενώ μπορεί να είναι διάφορα άλατα. Εάν το μέταλλευμα περιέχει φθόριο, τότε τα φθοριούχα άλατα που παράγονται μπορεί να είναι εξαιρετικά επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία.

## **B) Μεταφορές**

Ένας άλλος μεγάλος κλάδος που κατέχει μεγάλο ποσοστό απόρριψης ρύπων στην ατμόσφαιρα, είναι οι μεταφορές. Με τον όρο μεταφορές, εννοούμε τα αυτοκίνητα, φορτηγά, αεροπλάνα και γενικά όλα τα μεταφορικά μέσα που λειτουργούν με μηχανές εσωτερικής καύσης, κυρίως βενζίνης ή πετρελαίου. (Xue Y., Cao X., Ai Y., Xu K., Zhang Y., 2020) Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδυάστηκε για πρώτη φορά με τα αυτοκίνητα στη δεκαετία του '50 στο Λος Άντζελες, όπου παρατηρήθηκε πως το νέφος και η αιθαλομίχλη στον ουρανό της μεγαλούπολης, οφειλόταν στην χρήση των οχημάτων.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης, λειτουργούν εν γένει με βάση την απλή αντίδραση καύσης, όπου το καύσιμο αντιδρά με οξυγόνο και παράγει διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Σε αυτή την περίπτωση, η καύση ονομάζεται τέλεια και δεν παράγει ρύπους. Όμως, στην πραγματικότητα, στις μηχανές δεν γίνεται τέλεια καύση και αυτό

οφείλεται στην έλλειψη σταθερών στρωμάτων στον κινητήρα, τις διαφορές θερμοκρασίας στον θάλαμο καύσης και τα τοιχώματα του, την κακή συντήρηση των οχημάτων και πολλούς άλλους παράγοντες. Με την ατελή καύση παράγονται ρύποι οι οποίοι επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα, και παρόλο που συνεχώς μειώνονται με την χρήση νέων τεχνολογιών, συνεχίζουν να κατέχουν ένα σημαντικό κομμάτι στην 'πίτα' της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Οι κυριότεροι ρύποι που παράγονται λόγω της ατελούς καύσης των καυσίμων είναι οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC), οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Οι υδρογονάνθρακες (HC), αντιδρούν στην ατμόσφαιρα, παρουσία των οξειδίων του αζώτου και με την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας παράγουν επιφανειακό όζον. Το όζον, ενώ είναι πολύ σημαντικό όταν βρίσκεται στη στρατόσφαιρα και προστατεύει τον πλανήτη από την υπεριώδη ακτινοβολία τους ήλιου, όταν βρίσκεται σε επιφανειακό επίπεδο, κοντά στην γη δηλαδή, αποτελεί ρύπο και μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς στα μάτια, λοιμώξεις του αναπνευστικού και γήρανση των υλικών.

Τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) παράγονται στο εσωτερικό της μηχανής, ως αποτέλεσμα της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας μέσα σε αυτήν. Ανάλογα με την θερμοκρασία και την πίεση, έχουν διαφορετικούς βαθμούς οξειδωσης και μπορεί να παράγεται μονοξείδιο του αζώτου (NO), διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και άλλα μόρια που τελικά ομαδοποιούνται σε (NO<sub>x</sub>).

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι επίσης προϊόν ατελούς καύσης και παράγεται με την μερική και όχι πλήρη οξειδωση του άνθρακα προς διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, το διοξείδιο του άνθρακα, ενώ γενικά δεν θεωρείται ρύπος, καθώς δεν είναι επιβλαβές για τον ανθρώπινο οργανισμό, είναι από τα πλέον σημαντικά 'αέρια του θερμοκηπίου' και συνεισφέρει στην θέρμανση του πλανήτη.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ρύπων από τα οχήματα, παίζει ο λόγος αέρα προς καύσιμο ( $\lambda$ ) που παρέχεται στον θάλαμο της μηχανής προς καύση. Όταν το  $\lambda$  είναι ίσο με 1, σημαίνει πως το παρεχόμενο οξυγόνο είναι στοιχειομετρικά ίδιο με το παρεχόμενο καύσιμο. Για λόγο  $\lambda > 1$ , το μείγμα αέρα/καυσίμου είναι πλούσιο σε αέρα, ενώ για  $\lambda < 1$  το μείγμα είναι πλούσιο σε καύσιμο. Όταν το μείγμα είναι πλούσιο σε καύσιμο ( $\lambda < 1$ ), οι εκπομπές HC και CO είναι αυξημένες, ενώ οι εκπομπές NO<sub>x</sub>



περιορίζονται. Αντίθετα, για μείγμα πλούσιο σε αέρα ( $\lambda > 1$ ) αυξάνονται οι εκπομπές NOx, ενώ μειώνονται εκείνες των HC και CO.

Για τον έλεγχο του παραπάνω λόγου, υπάρχει στα οχήματα ο αισθητήρας  $\lambda$ , ο οποίος είναι υπεύθυνος να ρυθμίζει την παροχή καυσίμου προς τον κινητήρα, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Σκοπός του είναι να παρέχει τόσο καύσιμο όσο χρειάζεται, με σκοπό να ελαχιστοποιείται η έκλυση των παραπάνω ρύπων. Παρόλα αυτά, ο αισθητήρας αυτός μπορεί να υπολειτουργεί με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι εκπομπές ρύπων. Άλλοι λόγοι που μπορεί τα οχήματα να έχουν αυξημένη παραγωγή ρύπων είναι η ελλιπής συντήρηση της μηχανής, φθορές στη μηχανή ή στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης και η παροχή πλουσίου μείγματος στην μηχανή, όταν εκείνη είναι ακόμα ψυχρή, με αποτέλεσμα την αυξημένη έκλυση άκαυστων υδρογονανθράκων.

Πιο συγκεκριμένα, όσο αναφορά τα μεγάλα φορτηγά πλοία και μεγάλα κρουαζιερόπλοια, τα οποία κατά κύριο λόγο καθοδηγούνται με αυτόματο πιλότο όταν βρίσκονται σε ανοικτή θάλασσα, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες που περιορίζουν κατάλληλα την ταχύτητα του πλοίου, την παροχή του καυσίμου και άλλους παράγοντες, με σκοπό να περιορίζουν σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου, αλλά και τους ρύπους που εκπέμπονται από τις μηχανές. (You Y., Lee J., 2022)

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την έκλυση ρύπων από της μηχανές εσωτερικής καύσης είναι προφανώς η ποιότητα του καυσίμου. Έτσι, καύσιμα με μεγάλη χημειομετρική απόδοση, παράγουν μικρότερες ποσότητες ρύπων ανά χιλιόμετρο. Επιπλέον, καύσιμα με ξένες ουσίες στη σύνθεσή τους, όπως το θείο ή ο μόλυβδος, εμφανίζουν και άλλα είδη ρύπων, όπως τα οξείδια του θείου. Βέβαια, εν γένει γίνεται αποθείωση της βενζίνης πριν φτάσει στα οχήματα μας, και πλέον χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά αμόλυβδη βενζίνη και έτσι τείνει να εξαλειφθεί ο μόλυβδος.

Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα της ρύπανσης από οχήματα, θα ήταν η χρήση καθαρών καυσίμων, καυσίμων δηλαδή που εξαιτίας των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών, δεν εκλύουν τις ίδιες ποσότητες ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Τέτοια οχήματα μπορεί να λειτουργούν με υγραέριο, φυσικό αέριο ή αλκοόλες. Παρόλα αυτά, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος εκρήξεων των οχημάτων

αυτών, ακόμα και όταν βρίσκονται σε ακινησία στα γκαράζ τους, εξαιτίας της φύσης των καυσίμων αυτών. (To C., Chow W., Cheng F., 2021)

Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε και στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και εκείνα που κινούνται με υδρογόνο, δύο νέες ακόμα τεχνολογίες, που έχουν προοπτικές να μειώσουν κατά πολύ τους παραγόμενους ρύπους και να δώσουν λύση σε ένα σημαντικό πρόβλημα για την ανθρωπότητα.

### **Γ) Παραγωγή ενέργειας**

Τελευταία μεγάλη διεργασία κατά την οποία παράγονται τεράστιες ποσότητες ρύπων στην ατμόσφαιρα και είναι υπό την ευθύνη του ανθρώπου, είναι οι μονάδες παραγωγής ενέργειας. Τέτοιες μπορεί να είναι μονάδες καύσης γαιάνθρακα (λιγνίτη), πετρελαίου ή φυσικού αερίου, ή μπορεί να είναι μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή ακόμα και πυρηνικές εγκαταστάσεις. Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο κλάσμα παραγωγής ενέργειας γίνεται από εργοστάσια καύσης λιγνίτη και φυσικού αερίου. Αντίθετα, μικρό ποσοστό ενέργειας παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις παραγωγής πυρηνικής ενέργειας στη χώρα.

Αντίθετα, άλλες χώρες παράγουν ενέργεια και με άλλου τρόπους, όπως πυρηνική ενέργεια, ή έχουν το δυναμικό για μεγάλη παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέτοια παραδείγματα είναι χώρες που βρίσκονται στον ισημερινό και έχουν μεγάλα ποσοστά ηλιοφάνειας, άρα μπορούν να παραχθούν μεγάλα ποσοστά ηλιακής ενέργειας, ή χώρες που βρέχονται από ωκεανούς και άρα μπορούν να εκμεταλλευτούν την ενέργεια των κυμάτων. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η χρήση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, τεχνική που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην Ταϊλάνδη (Sandisirisomboon J., Limmeechokchai B., Chungpaibulpatana S., 2001) Όλες οι παραπάνω τεχνικές χρησιμοποιούνται με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής ενέργειας, αλλά και της μείωσης των ρύπων που εκπέμπονται από την κάθε διαδικασία.

Ο γαιάνθρακας είναι το πιο διαδεδομένο καύσιμο για παραγωγή ενέργειας στον κόσμο, όμως η σύστασή του διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, όπως επίσης μπορεί να περιέχει και διάφορες ξένες ουσίες όπως το θείο και ορυκτά. Αυτές οι ακαθαρσίες, δημιουργούν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς κατά την καύση καθαρού καυσίμου οι ρύποι ελαχιστοποιούνται. Παραπροϊόντα της καύσης μπορεί να

είναι τα οξείδια του θείου ή οξείδια του αζώτου που καταλήγουν στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, μεθάνιο, άκαυστοι υδρογονάνθρακες και οργανικές πτητικές ουσίες εκλύονται προς την ατμόσφαιρα.

Λόγω των αυξημένων απαιτήσεων της εποχής μας σε ενέργεια, τα εργοστάσια και οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας δουλεύουν ακατάπαυστα, με αποτέλεσμα οι ρύποι που εκλύονται από αυτή τη διεργασία, να κατέχουν και το μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με όλες τις παραπάνω. Έτσι, κατά την πενταετία 2013-2017, ενώ ο μέσος όρος παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα ήταν περίπου 50 εκ. τόνοι, οι 37,5 αυτών προερχόταν από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Ομοίως, από τους 770 τόνους υποξειδίου του αζώτου κατά μέσο όρο, οι 324 εξ' αυτών προερχόταν από τέτοιες εγκαταστάσεις.

Η Ελλάδα παρόλα αυτά, κατέχει μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό παραγωγής ρύπων που αντιστοιχεί σε περίπου σε 2,5-3% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή ένωση, περίπου 1-1,5% μεθανίου και 1,5-2% υποξειδίου του αζώτου. Πρέπει επίσης να υπολογιστεί και ότι μεγάλες χώρες με τεράστιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπως οι ΗΠΑ, Ρωσία, Κίνα και Ινδία, δεν υπολογίζονται στα παραπάνω δεδομένα. Χάρη σύγκρισης, μόνο στην Κίνα, παράχθηκε το 27% του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμφθηκε στον πλανήτη, το 2019. (Ling Y. et al., 2021) Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως οι ρύποι από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα.

### 2.3 Σημαντικότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι

Όπως φαίνεται και παραπάνω, οι σημαντικότεροι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είναι το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου και τα οξείδια του αζώτου, ορισμένοι υδρογονάνθρακες κυρίως πτητικοί, το όζον και ορισμένα μέταλλα όπως ο μόλυβδος. Για να διασφαλιστεί η ποιότητα της ατμόσφαιρας, έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένα όρια για τον κάθε ρύπο σε ετήσια, ημερήσια και ωριαία βάση. Τα όρια αυτά έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και ισχύουν σύμφωνα με την <<ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 21ης Μαΐου 2008 για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη>>.

Η ποιότητα του αέρα ελέγχεται συνεχώς από τις αρχές κάθε χώρας, με σκοπό την άμεση προειδοποίηση του κόσμου σε περίπτωση αυξημένων συγκεντρώσεων κάποιου ρύπου, που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα υγείας. Εκτός από την οδηγία 2008/50/ΕΚ, υπάρχουν και άλλες αντίστοιχες καθοδηγητικές γραμμές από άλλες χώρες που δεν ανήκουν στην ευρωπαϊκή ένωση και έχουν ακριβώς τον ίδιο σκοπό. Τα όρια της οδηγίας 2008/50/ΕΚ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 1, ενώ στον πίνακα 2 φαίνονται τα αντίστοιχα όρια στην Κίνα τα οποία ισχύουν αναθεωρημένα από το 2012.

<b>ΡΥΠΟΣ</b>	<b>ΩΡΙΑΙΟ ΟΡΙΟ</b>	<b>ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΟΡΙΟ</b>	<b>ΕΤΗΣΙΟ ΟΡΙΟ</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	350 µg/m <sup>3</sup> , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 24 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	125 µg/m <sup>3</sup> , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 3 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	-----
<b>NO<sub>2</sub></b>	200 µg/m <sup>3</sup> , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 18 φορές σε ένα ημερολογιακό έτος	-----	40 µg/m <sup>3</sup>
<b>BENZOLIO (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>	-----	-----	5 µg/m <sup>3</sup>
<b>CO</b>	-----	10 mg/m <sup>3</sup> (Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8ώρου)	-----
<b>Pb</b>	-----	-----	0,5 µg/m <sup>3</sup>
<b>ΑΣ<sub>10</sub> (PM<sub>10</sub>)</b>	-----	50 µg/m <sup>3</sup> , δεν πρέπει να υπερβαίνεται περισσότερο από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	40 µg/m <sup>3</sup>
<b>OZON (O<sub>3</sub>)</b>	-----	120 mg/m <sup>3</sup> (Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8ώρου)	-----

Πίνακας 1: Οριακές τιμές κυριότερων ρύπων για την προστασία της υγείας του ανθρώπου σύμφωνα με την οδηγία 2008/50/ΕΚ.

Στον πίνακα 2 όπου φαίνονται οι οριακές τιμές των ρύπων στην Κίνα, φαίνονται δύο τιμές σε κάθε ρύπο, που αντιπροσωπεύουν τα επίπεδα συναγερμού. Έτσι, Grade I είναι το επίπεδο αφύπνισης, ενώ Grade II το επίπεδο αυξημένου κινδύνου. Τα όρια αυτά, ειδικά για τα αιωρούμενα σωματίδια 2,5 (PM<sub>2,5</sub>), βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με εκείνα των ΗΠΑ και τις οδηγίες του παγκόσμιου οργανισμού υγείας. (Zhang et al., 2016)

<b>ΡΥΠΟΣ</b>	<b>ΩΡΙΑΙΟ ΌΡΙΟ</b>	<b>ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΌΡΙΟ</b>	<b>ΕΤΗΣΙΟ ΌΡΙΟ</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	150 µg/m <sup>3</sup> Grade I 500 µg/m <sup>3</sup> Grade II	50 µg/m <sup>3</sup> Grade I 150 µg/m <sup>3</sup> Grade II	20 µg/m <sup>3</sup> Grade I 60 µg/m <sup>3</sup> Grade II
<b>NO<sub>2</sub></b>	200 µg/m <sup>3</sup> Grade I 200 µg/m <sup>3</sup> Grade II	80 µg/m <sup>3</sup> Grade I 80 µg/m <sup>3</sup> Grade II	40 µg/m <sup>3</sup> Grade I 40 µg/m <sup>3</sup> Grade II
<b>CO</b>	10 mg/m <sup>3</sup> Grade I 10 mg/m <sup>3</sup> Grade II	4 mg/m <sup>3</sup> Grade I 4 mg/m <sup>3</sup> Grade II	-----
<b>ΑΣ<sub>10</sub> (PM<sub>10</sub>)</b>	-----	50 µg/m <sup>3</sup> Grade I 150 µg/m <sup>3</sup> Grade II	40 µg/m <sup>3</sup> Grade I 70 µg/m <sup>3</sup> Grade II
<b>ΑΣ<sub>2,5</sub> (PM<sub>2,5</sub>)</b>	-----	35 µg/m <sup>3</sup> Grade I 75 µg/m <sup>3</sup> Grade II	15 µg/m <sup>3</sup> Grade I 35 µg/m <sup>3</sup> Grade II
<b>ΟΖΟΝ (O<sub>3</sub>)</b>	160 µg/m <sup>3</sup> Grade I 200 µg/m <sup>3</sup> Grade II	100 µg/m <sup>3</sup> Grade I (Μ.Ο. 8ωρου) 160 µg/m <sup>3</sup> Grade II (Μ.Ο. 8ωρου)	-----

Πίνακας 2: Οριακές τιμές κυριότερων ρύπων που ισχύουν στην Κίνα από το 2012 και έπειτα. (Zhang et al., 2016)

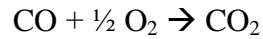
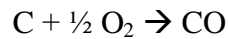
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι παραπάνω ρύποι και δίνεται η διαδικασία σχηματισμού τους και ο τρόπος που αλληλεπιδρούν με την ατμόσφαιρα και τους ανθρώπους. Οι ρύποι γενικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε πρωτογενής και δευτερογενής ρύπους. Πρωτογενής, λέγεται ένας ρύπος ο οποίος εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα απευθείας από την πηγή, ενώ δευτερογενής, είναι εκείνος ο οποίος παράγεται στην ατμόσφαιρα μέσω χημικών αντιδράσεων των πρωτογενών ρύπων.

Κυριότεροι πρωτογενής ρύποι είναι αέρια όπως το CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> και αλογονομένοι υδρογονάνθρακες - CFC<sub>s</sub> (ενώσεις C και H στις οποίες έχει προστεθεί αλογόνα) . Δευτερογενής ρύποι είναι το O<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> και άλλα.

### 2.3.1) Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένας από τους σημαντικότερους πρωτογενής ρύπους και μπορεί να προκαλέσει πολύ σημαντικά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, το οποίο εμφανίζεται ως ενδιάμεσο προϊόν κατά την καύση του άνθρακα προς διοξείδιο του άνθρακα. Όταν η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου δεν είναι αρκετή για την πλήρη οξείδωση του άνθρακα σε διοξείδιο, παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα και εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Ο σχηματισμός του ακολουθεί τις παρακάτω αντιδράσεις, όπου

φαίνεται πως το CO είναι το ενδιάμεσο προϊόν πριν το σχηματισμό του τελικού προϊόντος CO<sub>2</sub>.



Η αντίδραση αυτή δεν ολοκληρώνει και τα δύο στάδια της σε περίπτωση που το απαιτούμενο οξυγόνο δεν είναι επαρκές και αυτό συμβαίνει συχνά στα οχήματα και τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Συγκεκριμένα, το ποσοστό εκπομπών του CO μπορεί να φτάσει ακόμα και στο 80-95% για τις κινητές πηγές και κυρίως τα αυτοκίνητα. Παρόλα αυτά, τα επίπεδα εκπομπών του CO συνεχώς μειώνονται με την πρόοδο της τεχνολογίας, με καλύτερο έλεγχο του συντελεστή λ και την ευρεία χρήση των τριοδικών καταλυτών, με αποτέλεσμα κάθε χρόνο να εμφανίζονται όλο και μικρότερες εκπομπές του συγκεκριμένου ρύπου.

Άλλες πηγές εκπομπής του CO είναι τα εργοστάσια παραγωγής ενέργεια, οι εγκαταστάσεις καύσης των απορριμμάτων, καυστήρες κτηρίων, δασικές πυρκαγιές τουρμπίνες και μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Η επίδραση του στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μεγάλη και όσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση σε αυτό, τόσο μεγαλύτερα και τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει. Το μόριο του CO έχει παρόμοια δομή με εκείνη του οξυγόνου και όταν βρεθεί στο ανθρώπινο σώμα, ενώνεται με την αιμογλοβίνη, μία ουσία του αίματος που μεταφέρει οξυγόνο στου ιστούς, και παρεμποδίζει την οξυγόνωση τους. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να προκαλέσει από ήπια καρδιαγγειακά, κυκλοφοριακά και πνευμονολογικά προβλήματα, μέχρι ακόμα και θάνατο. Η σοβαρότητα των παραπάνω εξαρτάται από τον χρόνο έκθεσης στον ρύπο καθώς και την συγκέντρωση του.

Σε έρευνα που έχει διεξαχθεί σε ποντίκια, βρέθηκε πως έκθεση σε 50μM μονοξειδίου του άνθρακα για 10 λεπτά, οδήγησε σε μείωση της κινάσης της κρεατίνης και της γαλακτικής αφυδρογονάσης, δείκτες που επηρεάζουν την σωστή λειτουργία της καρδιάς και οδηγούν σε στεφανιαίες δυσλειτουργίες. (Soni M., Jain R., Mehta A., 2012)

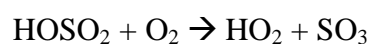
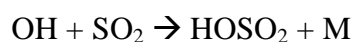
Μια σύγχρονη μέθοδος υπολογισμού εάν κάποιος έχει εκτεθεί σε διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα ρεσπιρόμετρο που μετράει την συγκέντρωση του αερίου στην αναπνοή. Σε έρευνα των Cunnington A., Hormbrey P. (2002), βρέθηκε πως οι καπνίζοντες είχαν

σημαντικά αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στην αναπνοή τους σε σχέση με τους μη καπνίζοντες.

### 2.3.2) Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)

Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) είναι ένα αέριο άοσμο και άχρωμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις, είναι διαλυτό στο νερό, ενώ σε υψηλότερες έχει έντονη χαρακτηριστική οσμή. Είναι από τα κύρια αέρια που ευθύνονται για την μείωση το pH της βροχής και κατ' επέκταση την δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής. Κύριες πηγές του είναι τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς. Ως φυσικές πηγές, οι εκρήξεις ηφαιστειών είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που εκλύει τεράστιες ποσότητες του αερίου στην ατμόσφαιρα, ενώ άλλες είναι η βακτηριδιακή αποσύνθεση οργανικών ενώσεων στις υδάτινες επιφάνειες, οι ωκεανοί μέσω των θεικών αεροζόλ είναι τα έλη (Γκιούρας, 2018). Οι κυριότερες πηγές ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του θείου είναι η καύση πετρελαίου για θέρμανση και κίνηση, η καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας, καθώς και η παραγωγή του ως παραπροϊόν από βιομηχανίες. Συγκεκριμένα το 50% της ανθρωπογενούς παραγωγής του αερίου οφείλεται στην καύση γαιάνθρακα ενώ το 25-30% στην καύση πετρελαίου (Κούγιας, 2019). Με βελτίωση των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούμε, μέσω της διαδικασίας της αποθείωση, μπορούν να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές του στην ατμόσφαιρα.

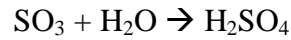
Το αέριο παραμένει στην ατμόσφαιρα για περίπου 4 μέρες και αποβάλλεται από αυτήν κυρίως μέσω της οξειδωσης του σε τριοξείδιο του θείου και έπειτα σε θειικό οξύ και τελικά μέσω της υγρής ή ξηρής κατακρήμνιση του, αποτίθεται στο έδαφος. Παρακάτω αναφέρονται οι μηχανισμοί κατά τους οποίους οξειδώνεται στις παραπάνω ενώσεις:



Το διοξείδιο του θείου αντιδρά με υδροξείδιο στην ατμόσφαιρα και τελικά οξειδώνεται σε τριοξείδιο του θείου. Αυτό στη συνέχεια απορροφά υδρατμούς από



την ατμόσφαιρα και σχηματίζει θειικό οξύ, το οποίο είναι ισχυρό οξύ, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση:



Τελικά το θειικό οξύ απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσω ξηρών κατακρημνίσεων (φύλλα φυτών, δάση, ωκεανοί κτλ) και υγρών κατακρημνίσεων (βροχής, χιόνι κτλ).

Έχει παρατηρηθεί πως η συγκέντρωση τόσο του διοξειδίου του θείου, όσο και του θειικού οξέως, παρουσιάζει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την συχνότητα των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή. Έτσι, στην τουριστική περιοχή Μπαλί της Ινδονησίας, η μέση συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου κατά την δεκαετία 2010-2020 κυμάνθηκε από 3 έως 253  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , με ορισμένες ημερήσιες τιμές να βρίσκονται υψηλότερα από το προκαθορισμένα όρια της τοπικής κυβέρνησης των 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Κατά κύριο λόγο, οι μέρες που οι τιμές ήταν αυξημένες, ήταν εκείνες όπου δεν είχε υπάρξει υετός για σειρά ημερών. (Ranaarif S., Yuwono A., 2021)

### 2.3.3) Οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ )

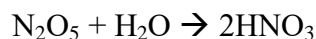
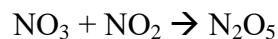
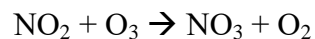
Με τον συμβολισμό  $\text{NO}_x$  συμβολίζουμε τα οξείδια του αζώτου που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα. Τα κυριότερα από αυτά είναι το διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) και το μονοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}$ ), όμως δεν είναι τα μόνα που λαμβάνουν μέρος σε αντιδράσεις. Το  $\text{NO}$  αποτελεί περίπου το 90% της έκλυσης οξειδίων του αζώτου, ενώ το  $\text{NO}_2$  αντιστοιχεί περίπου στο 10%. Το  $\text{NO}$  είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο και άγευστο καθώς και μη τοξικό. Αντίθετα, το  $\text{NO}_2$ , ειδικά σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, έχει έντονη χαρακτηριστική οσμή, και καστανό ή καστανοκόκκινο χρώμα, εξαιτίας της απορρόφησης τμήματος της ορατής ακτινοβολίας, ενώ λόγω της υψηλής οξειδωτικής του κατάστασης είναι εξαιρετικά τοξικό. (Zouzelka R., Rathousky J., 2017)

Κύριες πηγές των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα ποικίλουν και επηρεάζονται και από φυσικούς και από ανθρωπογενείς παράγοντες. Σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι η διάβρωση επιφανειών από ανέμους, οι εκρήξεις ηφαιστειών, η αποικοδόμηση

της οργανικής ύλης και οι αστραπές (Δουμπά, 2019). Αντίθετα, οι πιο αξιοσημείωτες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις έχουν να κάνουν με την καύση πετρελαίου για μεταφορές, με την καύση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας και διάφορες βιομηχανικές εργασίες όπως παραγωγή υάλου ή σιδήρου. (Mehr S., Afshin H., 2013)

Τα NO<sub>x</sub> έχουν, όπως και το SO<sub>2</sub>, χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα της τάξης της μίας εβδομάδας. Πιο συγκεκριμένα, το NO<sub>2</sub> παραμένει στην ατμόσφαιρα για περίπου 3 μέρες, ενώ το NO για περίπου 4. Οι κυριότεροι μηχανισμοί αποβολής τους από την ατμόσφαιρα, είναι η ξηρή εναπόθεση, οι φωτοχημικές αντιδράσεις και η οξείδωση του σε νιτρικό οξύ το οποίο στη συνέχεια απομακρύνεται μέσω της βροχής.

Με την βοήθεια του ηλιακού φωτός τα οξείδια του αζώτου πραγματοποιούν τον 'φωτολυτικό κύκλο των οξειδίων του αζώτου'. Με την διαδικασία αυτή, παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής. Ο πιο κρίσιμος μηχανισμός για το φαινόμενο της όξινης βροχής, είναι η οξείδωση τους σε νιτρικό οξύ, το οποίο όπως και το θειικό είναι ισχυρό οξύ. Παρακάτω παραθέτονται οι σχετικές αντιδράσεις :



Αρχικά το NO<sub>2</sub> αντιδρά με το τροποσφαιρικό όζον και παράγει τριοξείδιο του αζώτου, το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με το διοξείδιο προς παραγωγή N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Αυτό με την σειρά του υδρολύεται ταχύτατα σε σταγονίδια ομίχλης και τελικά καταλήγει στο τελικό προϊόν, το νιτρικό οξύ απομακρύνεται μέσω της όξινης βροχής.

Επίσης, το NO<sub>2</sub> αντιδρά με ακόμα ένα μηχανισμό με ρίζες HO μέσω της παρακάτω αντίδρασης:



Η συγκεκριμένη αντίδραση πραγματοποιείται κυρίως κατά την διάρκεια της μέρας και η συγκέντρωση του HNO<sub>3</sub> μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 50 ppb.

#### 2.3.4) Πτητικές οργανικές ουσίες (VOC)

Με τον όρο VOC (Πτητικοί Οργανικοί Υδρογονάνθρακες) εννοούμε όλες τις οργανικές ενώσεις που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, εκτός του μονοξειδίου και του διοξειδίου του άνθρακα. Παρόλο που δεν είναι αυτός ο ακριβής ορισμός της έννοιας, δίνει μια αρκετά καλή περιγραφή της. Τέτοιες ενώσεις μπορεί να είναι αλογονούχες, θειούχες ή οξυγονούχες οργανικές ενώσεις και εντοπίζονται σε μεγαλύτερες κυρίως πόλεις και σε μεγάλες βιομηχανικές περιοχές.

Τα VOC εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα είτε μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας ή με φυσικό τρόπο. Φυσικές πηγές τους είναι οι φωτιές δασών, τα φυτά, δέντρα και αναερόβιες διαδικασίες οργανισμών και μικροοργανισμών. Ανθρώπινες πηγές είναι τα αυτοκίνητα, η μεταφορά, διύλιση και εξόρυξη πετρελαίου, η ταφή απορριμμάτων, η παραγωγή τροφίμων, η χρήση σπρέι αεροζόλ, η χρήση διαλυτών και χρωμάτων και γενικότερα οι γεωργικές διαδικασίες. (Nourian A., Abba M., Nasr G., 2021)

Πιο συγκεκριμένα, τα βερνίκια, χρώματα και διαλύτες, είναι σημαντικές πηγές VOC και αναγνωρίζονται από την χαρακτηριστική οσμή κατά την εξάτμιση τους. Επιπλέον, κατά την εξόρυξη, την διύλιση και την μεταφορά πετρελαίου, εξατμίζονται ατμοί και άλλα αέρια που τελικά καταλήγουν στην ατμόσφαιρα. Μία άλλη πηγή VOC είναι η εξάτμιση της βενζίνης κατά την διάρκεια ανεφοδιασμού των οχημάτων, ενώ όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, κατά την διάρκεια καύσης στις μηχανές των οχημάτων, δεν πραγματοποιείται τέλεια καύση και μέρος των παραπροϊόντων της είναι άκαυστοι υδρογονάνθρακες που εμπίπτουν στην κατηγορία των VOC. Σε μια μετρίου μεγέθους πόλη, η κυριότερη πηγή VOC είναι η χρήση οχημάτων από τους κατοίκους, σε αντίθεση με άλλες δραστηριότητες. (Gonzalez M., Gomes D., Rojas N., Acevedo H., Aristisabal H., 2017)

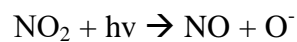
Οι VOC προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον, όσο και στον άνθρωπο. Πολλές από αυτές τις ενώσεις, είναι αρκετά σταθερές και έχουν την δυνατότητα να φτάσουν μέχρι την στρατόσφαιρα, όπως μέσω της αντίδρασης με υδροξυλικές ρίζες και της φωτόλυσης, παράγονται ενώσεις που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον. Άλλες ενώσεις, κοντά στην επιφάνεια της γης παίρνουν μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις και παράγουν επιφανειακό όζον που είναι επικίνδυνο για τους οργανισμούς και τα υλικά. Τέλος, οι VOC συνεισφέρουν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι επιπτώσεις τους δεν περιορίζονται μόνο στην ατμόσφαιρα, αλλά και στους ανθρώπους. Ορισμένες από αυτές τις ενώσεις είναι καρκινογόνες ή τοξικές για τον οργανισμό. Το 1,3 βουταδιένιο, η φορμαλδεΰδη και το βενζόλιο προκαλούν διαφόρων ειδών καρκίνους ενώ τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), διοξίνες, φουράνες και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) είναι άκρως τοξικοί για τον ανθρώπινο οργανισμό.

### 2.3.5) Όζον (O<sub>3</sub>)

Το όζον είναι πολύ χρήσιμο όταν βρίσκεται στην στρατόσφαιρα, καθώς απορροφά την ενεργητική υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και δεν την επιτρέπει να φτάσει στην στρατόσφαιρα, όπου μπορεί να γίνει επικίνδυνη για τον άνθρωπο. Όταν βρίσκεται, όμως, στην ίδια την τροπόσφαιρα, τότε θεωρείται ρύπος και είναι ένας από τους σημαντικότερους και πιο επιβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό και το περιβάλλον.

Το τροποσφαιρικό όζον είναι ένας δευτερογενής ρύπος, δημιουργείται δηλαδή ως προϊόν χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα, αλλά δεν παράγεται από κάποια πηγή. Είναι από τους σημαντικότερους φωτοχημικούς ρύπους, συμβάλει αρκετά στην δημιουργία του φωτοχημικού νέφους, και είναι ισχυρό φωτολυτικό οξειδωτικό. Για την παραγωγή του, πρωτογενής ρύποι όπως τα οξείδια του αζώτου ή τα VOC, φωτολύονται παρουσία της ηλιακής ενέργειας και απελευθερώνουν ρίζες οξυγόνου, οι οποίες στη συνέχεια αντιδρούν με μοριακό οξυγόνο και σχηματίζουν όζον. Στις παρακάτω αντιδράσεις λαμβάνει μέρος και ένα ακόμα μόριο M που έχει την ιδιότητα να απορροφά την παραγόμενη ενέργεια. Τέτοιο, μόριο μπορεί να είναι το άζωτο για παράδειγμα.



Λόγω της απαίτησης ηλιακής ενέργειας για την πραγματοποίηση της παραπάνω αντίδρασης, γίνεται κατανοητό πως το όζον θα εμφανίζει αυξημένη συγκέντρωση σε θερμές και ξηρές θερινές μέρες, όπου και η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγαλύτερη ένταση.

Το όζον είναι πολύ ισχυρό οξειδωτικό και γιαυτό το λόγο, μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στους ανθρώπινους ιστούς και κυρίως στους πνεύμονες, μειώνοντας την απόδοση τους και ευαισθητοποιώντας τους σε άλλες ουσίες. Μπορεί να δημιουργήσει αναπνευστικά προβλήματα, άσθμα, ερεθισμούς στα μάτια και την μύτη και τέλος προκαλεί γήρανση των ιστών. Ακόμα και σε συγκεντρώσεις της τάξης των 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  αυξάνεται ο κίνδυνος για καρδιακά και αναπνευστικά προβλήματα. (Liao Z., Fan S., 2015)

Επιπλέον, μπορεί να καταστρέψει φυτά και δέντρα, ενώ η υψηλή οξειδωτική του φύση, προκαλεί γήρανση στα υλικά, καθιστώντας τα ακατάλληλα. Ένα τέτοιο παράδειγμα, είναι η ξήρανση των ελαστικών στα αυτοκίνητα. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του, έχουν θεσπιστεί ωριαία όρια και μέγιστα όρια δώρου.

### **2.3.6) Αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2,5}$ )**

Οι σωματιδιακοί ρύποι είναι μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες ρύπων στην ατμόσφαιρα. Σωματίδια που προέρχονται από ανθρωπογενής πηγές ή φυσικές διεργασίες και μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, στα φυσικά οικοσυστήματα, σε μνημεία ακόμα και κατασκευές. Τα αιωρούμενα σωματίδια χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος τους και τις επιπτώσεις που προκαλούν στην ανθρώπινη υγεία. Έτσι, σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 $\mu\text{m}$  ονομάζονται  $\text{PM}_{10}$ , ενώ εκείνα με διάμετρο μικρότερη από 2,5 $\mu\text{m}$  ονομάζονται  $\text{PM}_{2,5}$ .

Σύμφωνα με τους Remoundaki E. et al (2013), η συγκέντρωση των  $\text{PM}_{2,5}$  σωματιδίων αυξάνεται όταν συμβαίνουν επεισόδια μεταφοράς σκόνης από την Σαχάρα. Το 75% των σωματιδίων αυτών αποτελούνται από: Σωματιδιακή οργανική ύλη (POM) και στοιχειακό άνθρακα (EC) (περίπου 30%), Δευτερογενή ανόργανα αεροζόλ (SIA) (περίπου 30%), σκόνη και μεταλλικά ανθρωπογενή στοιχεία (MIN) (περίπου 5%) και θαλασσινό αλάτι (SS) (περίπου 4%). Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι σωματιδιακοί ρύποι μπορούν να προέρχονται από πηγές που βρίσκονται πολλά χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο μέτρησής τους.

Τα σωματίδια χωρίζονται, επιπλέον, ανάλογα με τα προβλήματα που προκαλούν στην ανθρώπινη υγεία. Αρχικά, τα μεγάλα σχετικά σωματίδια, με μέγεθος μεγαλύτερο από 7  $\mu\text{m}$ , ονομάζονται εισπνεύσιμα και είναι σχετικά ακίνδυνα, καθώς αντιμετωπίζονται αρκετά αποτελεσματικά από τα ανώτερο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Σωματίδια μεσαίου μεγέθους (< 7 $\mu\text{m}$ ) ονομάζονται θωρακικά και διαπερνούν το ανώτερο αναπνευστικό και τελικά καταλήγουν στο άνω θωρακικό σύστημα. Τέλος, τα μικρά σωματίδια με μέγεθος μικρότερο των 2,5  $\mu\text{m}$ , ονομάζονται αναπνεύσιμα και εισέρχονται στους πνεύμονες όπου και προκαλούν τα μεγαλύτερα προβλήματα.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται ποικίλουν ανάλογα με την τοξικότητα του κάθε ρύπου, την συγκέντρωση του και τον χρόνο έκθεσης σε αυτόν. Τέτοια μπορεί να είναι : άσθμα, αναπνευστικά προβλήματα, θρομβώσεις, ακόμα και θάνατος. Έχει παρατηρηθεί, πως η τοξικότητα των σωματιδιακών ρύπων αυξάνεται όσο το μέγεθος τους μικραίνει, καθώς μπορούν να διαπεράσουν αποτελεσματικότερα το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου που λειτουργεί σαν ασπίδα του οργανισμού. Σωματίδια με μέγεθος <100 nm είναι εξαιρετικά τοξικά αφού μπορούν και φθάνουν μέχρι τις κυψελίδες τους πνεύμονα και εγκαθίστανται εκεί. (Veronesi B., Oortgiesen M., 2001)

Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις, εκτός από την ανθρώπινη υγεία, και στο περιβάλλον. Τα PM<sub>2,5</sub> είναι υπεύθυνα για την μειωμένη ορατότητα σε μέρες με αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση. (Kam W., Liacos W., Schauer J., Delfino R., Sioutas C., 2012) Επιπλέον, οι σωματιδιακοί ρύποι προκαλούν όξινη των υδάτων σε λίμνες και ποτάμια, ενώ συνεισφέρουν και ενισχύουν το φαινόμενο της όξινης βροχής. Επιπλέον, ξεπλένουν από το χώμα τα θρεπτικά του συστατικά και έτσι επηρεάζουν σημαντικά την βιοποικιλότητα μιας περιοχής. Τέλος, μπορούν να προκαλέσουν αρκετές υλικές ζημιές και να λεκιάζουν μνημεία και έργα τέχνης που εκτίθενται σε αυτά (US EPA).

## **2.4) Φαινόμενα που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση**

Εκτός από την άμεση επιρροή των παραπάνω ρύπων στους ανθρώπους, ζώα, φυτά και γενικότερα στα οικοσυστήματα, οι ρύποι αυτοί είναι υπεύθυνοι για ορισμένα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα και προέρχονται από χημικές αντιδράσεις των ρύπων μέσα σε αυτήν. Τέτοια φαινόμενα για παράδειγμα είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή και η τρύπα του όζοντος. Κάποια από τα παραπάνω προβλήματα θα αναφερθούν ενδεικτικά στην συνέχεια του κεφαλαίου. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να συμβαίνουν σε παγκόσμια κλίμακα και να επηρεάζουν ολόκληρο τον πλανήτη, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ άλλα έχουν πιο τοπικό χαρακτήρα, όπως η όξινη βροχή.

### **2.4.1) Φαινόμενο του θερμοκηπίου**

Ένα από τα σημαντικότερα ατμοσφαιρικά φαινόμενα που σχετίζονται με την ρύπανση της ατμόσφαιρας, είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο, κάτι που είναι γνωστό στην επιστημονική κοινότητα εδώ και χρόνια. Δίχως την συμβολή των αερίων του θερμοκηπίου, η γήινη ατμόσφαιρα θα είχε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία και πιθανότατα δεν θα μπορούσε να αναπτυχθεί ζωή στον πλανήτη. Τα σημαντικότερα αέρια που συνεισφέρουν είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και οι χλωροφθωράνθρακες (CFCs). Τα αέρια αυτά είναι διαφανή στην ορατή ακτινοβολία (400-700 nm) και βρίσκονται στην ατμόσφαιρα έχοντας μεγάλο χρόνο ζωής. Παρόλα αυτά, τα αέρια αυτά απορροφούν ακτινοβολία στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ( $\lambda > 700$  nm) και λόγω αυτής της ιδιότητάς τους απορροφούν μέρος της γήινης ακτινοβολίας που προσπαθεί να διαφύγει προς το διάστημα. (Xu Y., Cui G., 2021) Η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας εξαρτάται και από τον καιρό, καθώς σε έναν καθαρό ουρανό αυτή είναι περίπου 10 % ενώ αυξάνεται σε νεφώδης ουρανό μέχρι και στο 30 %. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν περίπου  $-18^\circ \text{C}$ , ενώ τώρα κυμαίνεται τους  $15-27^\circ \text{C}$ . (Liu B., Yong S., Tan H., 2011)

Το φαινόμενο αυτό είναι, λοιπόν, πολύ σημαντικό για την διατήρηση της ζωής στον πλανήτη Γη. Όμως, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ειδικά κατά τους τελευταίους αιώνες, όπου η ανθρώπινη

δραστηριότητα οδηγεί στην εκπομπή τεραστίων ποσοτήτων αυτών των αερίων, η απορρόφηση της γήινης ακτινοβολίας μεγαλώνει, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει πολύ σημαντικές επιπτώσεις σε ανθρώπους, ζωικό βασίλειο, φυτά, φυτικές παραγωγές καθώς και σε ολόκληρο το παγκόσμιο οικοσύστημα. Οι επιπτώσεις αυτές είναι τόσο μεγάλες που επηρεάζουν το παγκόσμιο κλίμα και οδηγούν στην κλιματική αλλαγή.

#### **2.4.2) Κλιματική αλλαγή**

Η πιο άμεση συνέπεια του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη. (Balan M., Negoescu B., Nedelea S., Grigoriu M., Bran M., 2010). Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι τα μεγάλα τμήματα πάγου που βρίσκονται στους πόλους βρίσκονται σε οριακή κατάσταση. Τήξη των μεγάλων ποσοτήτων πάγου στους πόλους σημαίνει ταυτόχρονη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Μόνο τον 20<sup>ο</sup> αιώνα η μέση στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά 10 εκατοστά, ενώ τα μοντέλα προβλέπουν για το μέλλον ετήσια αύξηση 1 χιλιοστού (Κατσούλης, Κασσωμένος, 2013)

Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας έχει πολύ σοβαρές συνέπειες στην σύγχρονη ανθρώπινη κοινωνία. Αρχικά σε πόλεις που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο, σχεδόν στο επίπεδο της θάλασσας, θα αντιμετώπιζαν καταστροφή εγκαταστάσεων σε λιμάνια, παραλίες και παραθαλάσσιες περιοχές. Επίσης η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα μπορούσε να είναι υπεύθυνη για την απομάκρυνση μέρος του πληθυσμού από τα σπίτια τους για λόγους ασφαλείας. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα γίνονται ολοένα και πιο έντονα, με πιο ισχυρές βροχές, πλημμύρες και ανέμους, ενώ μια ακόμα σημαντική επίπτωση θα ήταν η μείωση του καθαρού νερού και η αύξηση του κλάσματος του θαλασσινού νερού δημιουργώντας μεγαλύτερη ανάγκη για αφαλάτωση νερού. (Nwona, H.,2013)

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής δεν περιορίζονται όμως μόνο στον άνθρωπο και τις εγκαταστάσεις, αλλά και στα ζώα και τους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, πολλά φυτά δεν αντέχουν την υπερθέρμανση αυτή και έτσι καταστρέφονται ολόκληρα φυσικά οικοσυστήματα.



### **2.4.3) Τρύπα του όζοντος**

Τρύπα του όζοντος ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο, το στρώμα του όζοντος που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα έχει ελαττωθεί πάνω από την Ανταρκτική. Σε αντίθεση με το τροποσφαιρικό όζον που θεωρείται ρύπος, το στρατοσφαιρικό όζον που βρίσκεται σε ύψος 15-50 χμ πάνω από την επιφάνεια της Γης και έχει πάχος περίπου 1 χιλιόμετρο, προστατεύει τον πλανήτη από την υπερϊώδη ηλιακή ακτινοβολία. Περίπου το 10% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας αντιστοιχεί στην αρκετά ενεργητική υπερϊώδη ακτινοβολία, την οποία το στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος έχει την ικανότητα να απορροφά.

Με την εκτεταμένη χρήση βλαβερών χημικών ουσιών ως προς το όζον και κυρίως χλωροφθορανθράκων (CFCs), το στρώμα του όζοντος ελαττώνεται και δεν απορροφά ικανοποιητικά την ηλιακή ακτινοβολία. Τα CFCs όταν βρίσκονται ελεύθερα στην ατμόσφαιρα, αποδεσμεύουν ελεύθερες ρίζες χλωρίου. Οι ρίζες αυτές, που είναι ιδιαίτερα βλαβερές για το όζον, έχουν την ικανότητα να καταστρέψουν περίπου 1.000.000 μόρια όζοντος έκαστος.

Πρώτη φορά που παρατηρήθηκε το φαινόμενο ήταν το 1982, όταν μία ομάδα Βρετανών ερευνητών στην Ανταρκτική, υπό την εποπτεία του Τζόι Φάρμαν, παρατήρησε σημαντική μείωση του στρώματος, που έφτανε μέχρι και το 40%. Το φαινόμενο αυτό συνεισφέρει στην υπερθέρμανση του πλανήτη και μαζί με το φαινόμενο του θερμοκηπίου επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή.

Το φαινόμενο της ‘τρύπας του όζοντος’ παρόλο που βρίσκεται σε ύφεση τα τελευταία χρόνια, έπειτα από τις προσπάθειες των κυβερνήσεων όλου του πλανήτη, συνεχίζει να απασχολεί τους επιστήμονες. Επιπλέον, είναι ένα περιοδικό φαινόμενο, δηλαδή το πάχος του στρώματος του όζοντος διαφέρει ανάλογα με την εποχή και εμφανίζει μέγιστη μείωση κατά τους μήνες Αύγουστο – Σεπτέμβρη, κατά την άνοιξη του νοτίου ημισφαιρίου. (Stone K., Solomon S., Kinnison D., Mills M., 2021)

### **2.4.4) Όξινη βροχή**

Κατά το φαινόμενο της όξινης βροχής, το βρόχινο νερό εμφανίζει χαμηλότερες τιμές pH λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) στην ατμόσφαιρα. Η φυσιολογική τιμή του pH της βροχής κυμαίνεται

από 5 έως 5,6 εξαιτίας της ύπαρξης στην ατμόσφαιρα ανθρακικού οξέως, το οποίο προέρχεται από την οξείδωση του CO<sub>2</sub>. Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, οξειδώνονται μέσω χημικών αντιδράσεων σε θειικό οξύ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και νιτρικό οξύ (HNO<sub>3</sub>) αντίστοιχα, μειώνοντας έτσι το pH της βροχής. Κατά το φαινόμενο αυτό το pH μπορεί να μειωθεί σε τιμές μέχρι και κάτω από 4, κάτι που δημιουργεί σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις σε οικοσυστήματα. Χαρακτηριστικά, pH 4,6 είναι 10 φορές πιο όξινο από το 5,6. Τα οξέα αυτά εκτός από την βροχή επηρεάζουν και άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα όπως το χιόνι, την ομίχλη και το χαλάζι. Λόγω της φύσης των ρύπων αυτών, έχουν την ικανότητα να μεταφέρονται πολλά χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους, δημιουργώντας προβλήματα σε περιοχές που μπορεί να μην έχουν μεγάλες εκπομπές, ξεπερνώντας όρια πόλεων, νομών ακόμα και κρατών.

Ο όρος 'όξινη βροχή (acid rain)' διατυπώθηκε πρώτη φορά από τον Άγγλο χημικό Robert Angus Smith, ο οποίος περιέγραψε με αυτόν τον όρο τον όξινο χαρακτήρα των βροχών στο Λονδίνο, που είχε προκληθεί από την καύση ορυκτών καυσίμων από κοντινά εργοστάσια. Το φαινόμενο δεν απασχολούσε ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα μέχρι το 1982, όποτε και αναγνωρίστηκε από τα Ηνωμένα Έθνη ως ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα. (Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας)

### 3. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

#### 3.1 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους ανθρώπους

Όπως αναλύθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να προκαλέσουν πολλά προβλήματα τόσο στην ανθρώπινη υγεία, όσο και στο περιβάλλον γενικότερα. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) ενώνεται με την αιμογλοβίνη στο αίμα και παίρνει την θέση του οξυγόνου, μην επιτρέποντας έτσι την μεταφορά οξυγόνου στους ιστούς. Μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά και πνευμονολογικά προβλήματα, αλλά και πιο σοβαρά νευρολογικά προβλήματα μέχρι και θάνατο. Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα σε θειικό οξύ, ένα ισχυρό οξύ που συμβάλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής, τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) μπορεί να δημιουργήσουν ερεθισμούς στα μάτια και αναπνευστικό, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις, μπορεί να είναι τοξικά. Τα VOC είναι ουσίες με έντονη οσμή και προκαλούν όχληση, όμως μπορεί να είναι και πολύ τοξικές και επικίνδυνες για τον ανθρώπινο οργανισμό. Ενώσεις όπως οι διοξίνες, οι φουράνες και άλλες είναι υπεύθυνες για καρκινογένεσεις και άλλα γενετικά προβλήματα. Το τροποσφαιρικό όζον (O<sub>3</sub>) είναι πολύ ισχυρό οξειδωτικό και προκαλεί ερεθισμούς στα μάτια και αναπνευστικό. Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub>) εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα μέσω του αναπνευστικού συστήματος και ανάλογα με το μέγεθος τους, μπορούν να προκαλέσουν μεγάλα προβλήματα. Όσο μικρότερη διάμετρο έχουν, τόσο πιο δύσκολα αντιμετωπίζονται από το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και τόσο μεγαλύτερη διεισδυτικότητα έχουν στο σώμα, προκαλώντας σοβαρότερα προβλήματα.

Εκτός από κάθε ρύπο χωριστά, δύο ή περισσότεροι ρύποι μπορούν να δρουν συνεργατικά, με αποτέλεσμα η έκθεση του ανθρώπου σε αυτούς να είναι ακόμα πιο επιβλαβής. Με σκοπό τον έλεγχο και την πρόληψη έντονων φαινομένων έκθεσης σε υψηλά επίπεδα ρύπων, έχουν θεσπιστεί δείκτες ποιότητας αέρα, που υπολογίζουν την σχετική ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής. Η μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας όπως είναι γνωστό. Η κρίσιμη παράμετρος όμως, σε αστικά περιβάλλοντα, δεν είναι εάν ο αέρας είναι ρυπασμένος και κατά πόσο, αλλά ποια είναι τα αποτελέσματα αυτής της ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία. (Mayer H., 1999)

Ο δείκτης CAQI (Common Air Quality Index) έχει αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή υπηρεσία περιβάλλοντος και είναι ένα αρκετά εύχρηστο εργαλείο που περιγράφει την ποιότητα και την κατάσταση του ατμοσφαιρικού αέρα σε αρκετές πόλεις της Ευρώπης. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι ότι οι τιμές ποιότητας του αέρα, δίνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να μελετηθούν ακόμα και από μη ειδικούς, δίνοντας έτσι στους πολίτες τη δυνατότητα να γνωρίζουν εάν βρίσκονται σε υγιείς ή ρυπασμένο περιβάλλον. Ο δείκτης AQI (Air Quality Index) εισήχθη πρώτη φορά το 1999 και υπολογίζει την συγκέντρωση των σημαντικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων : O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>. Ο AQI αυτός υπολογίζει την ποιότητα του αέρα σε πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 350.000 κατοίκους.

Οι μετρήσεις του αφορούν τρεις βασικές κατηγορίες. 1) Ωριαίους δείκτες, 2) Ημερήσιους δείκτες και 3) Μέσους Ετήσιους δείκτες. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0-100+ όπου 0 είναι άριστη ποιότητα αέρα και τιμές μεγαλύτερες του 100 πολύ κακή ποιότητα αέρα. Οι τιμές είναι χωρισμένες σε 5 επίπεδα και κάθε ένα αναπαριστάται με διαφορετικό χρώμα ώστε να είναι πιο κατανοητό για τους πολίτες.

Τα επίπεδα είναι τα παρακάτω:

- 0-25 μονάδες σημαίνει πολύ χαμηλή ρύπανση,
- 25-50 χαμηλή ρύπανση,
- 50-75 μέτρια ρύπανση,
- 75-100 αυξημένη ρύπανση,
- >100 πολύ αυξημένη ρύπανση.

Οι ποιότητα του αέρα μπορεί να ελεγχθεί από οποιονδήποτε, ανά πάσα στιγμή μέσω της ιστοσελίδας της Ευρωπαϊκής υπηρεσίας περιβάλλοντος. Έτσι, τόσο ο CAQI όσο και άλλοι αντίστοιχοι δείκτες, είναι πολύ σημαντικοί στην πρόληψη φαινομένων μεγάλης έκθεσης σε ρύπους και προστατεύουν τους πολίτες μέσω της έγκαιρης ενημέρωσης.

Ο βαθμός έκθεσης ενός ατόμου στην ατμοσφαιρική ρύπανση, δεν εξαρτάται μόνο από την ποιότητα του αέρα αλλά και τον χρόνο παραμονής του σε αυτόν. Επιπλέον, η εκάστοτε δραστηριότητα του παίζει ρόλο. Έτσι, δραστηριότητες όπως ο ύπνος, το φαγητό, η εργασία σε εσωτερικό χώρο και οι οικιακές εργασίες, είναι δραστηριότητες που περιορίζουν την έκθεση του ατόμου σε υψηλή ρύπανση. Αντίθετα, η άσκηση σε εξωτερικό χώρο, το περπάτημα και η οδήγηση οδηγούν σε αυξημένη έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση.(Hu, Davidson, Rahman, Sivaraman, 2014)

Η έκθεση σε υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση, δεν συμβαίνει αποκλειστικά σε εξωτερικό χώρο. Ακόμα και μέσα στο σπίτι μπορεί να γίνεται εκπομπή ρύπων και έχουν την ικανότητα να προκαλούν προβλήματα υγείας στους κατοίκους του σπιτιού. Οι ρύποι αυτοί προέρχονται από συσκευές θέρμανσης, όπως, τζάκια, ξυλόσομπες και σόμπες αερίου, ή ακόμα και από συσκευές μαγειρέματος, όπως ξυλόφουρνοι. Στην Κίνα παρατηρήθηκε πως μακροχρόνια έκθεση ενός ατόμου στους ρύπους που εκπέμπονται από τις παραπάνω συσκευές, συσχετίζεται με περισσότερες πιθανότητες να εμφανίσουν συμπτώματα κατάθλιψης. (Li, Zhou, Ding, 2021)

Τόσο η έκθεση σε ρυπασμένο αέρα εκτός του σπιτιού, όσο και εντός αυτού, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές δυσλειτουργίες στα μάτια. Οφθαλμολογικές ασθένειες όπως το γλαύκωμα, καταρράκτης, φλεγμονές και επιτάχυνση της γήρανσης των οφθαλμών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα σε άτομα που εκτίθενται σε αυξημένα επίπεδα ρύπανσης. (Lin et al., 2022)

Τον σημαντικότερο κίνδυνο όμως, τον αντιμετωπίζει ο ανθρώπινος οργανισμός, εξαιτίας των αναπνευστικών και πνευμονολογικών προβλημάτων που προκαλούν οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, με πιο επικίνδυνο τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο 2,5 μm (PM<sub>2,5</sub>). Έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 2015 στην Ινδία, προκλήθηκαν περίπου 1 εκατομμύριο πρόωροι θάνατοι που σχετίζονται με αναπνευστικά προβλήματα λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, περίπου άλλο 1 εκατομμύριο θάνατοι οφειλόταν σε ατμοσφαιρική ρύπανση εντός σπιτιού. Οι κύριοι μηχανισμοί που προκαλούν ασθένειες είναι οξείες μολύνσεις του αναπνευστικού, άσθμα, χρόνιες αποφρακτικές πνευμονοπάθειες, καρκίνος των πνευμόνων καθώς και γενικότερα επιδείνωση οποιασδήποτε προϋπάρχουσα ασθένειας. (Gopi, Khilnani, Tiwari, 2018)

Η έκθεση σε έντονα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχει αποδειχτεί ότι αυξάνει τις πιθανότητες ενός εγκεφαλικού επεισοδίου. Ειδικά όταν τα επίπεδα ρύπων στην ατμόσφαιρα παρέμεναν ψηλά για τουλάχιστον τρεις διαδοχικές μέρες, υπήρξε άμεση συσχέτιση με την εμφάνιση περισσότερων εγκεφαλικών επεισοδίων, καθώς και τον συνολικό αριθμό 'χαμένων ετών ζωής' (Years of Life Lost - YLL) (Huang, Pan, Guo, Li, 2018). Επιπλέον, τα YLL αυξανόταν σημαντικά όταν ο δείκτης ποιότητας αέρα AQI είχε τιμές μεγαλύτερες από 100 για 2 διαδοχικές μέρες. Στις περιπτώσεις αυτές, οι περισσότεροι πρόωροι θάνατοι οφειλόταν σε καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και προβλήματα πνευμονοπαθειών. (Wang, Li, Huang, Wang, Pan, 2019)

Τέλος, εκτός από τα προφανή ζητήματα υγείας που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση, επηρεάζονται σημαντικά και άλλοι τομείς της καθημερινότητας, όπως η οικονομία. Χαρακτηριστικά, με μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) μείωση του τροποσφαιρικού όζοντος ( $\text{O}_3$ ) κατά μόλις 0,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , που μπορεί να συμβεί εάν αυξηθούν οι πολίτες που χρησιμοποιούν ποδήλατο για τις μετακινήσεις τους εντός αστικών κέντρων αντί για αυτοκίνητο, μπορούν να εξοικονομηθούν σε υγειονομικά κόστη έως και 4,94 δις δολάρια ανά έτος. (Wu, Chen, Guo, Gao, 2018) Επιπλέον, υπάρχει θετική και σημαντική συσχέτιση ανάμεσα σε ημέρες με αυξημένη ρύπανση και πτώση των δεικτών στα μεγάλα χρηματιστήρια. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε πρώτη φορά στην Κίνα μετά το 2013, όταν και οι τοπικές αρχές άρχισαν να παίρνουν στα σοβαρά τα σοβαρά επεισόδια ρύπανσης ( $\text{AQI} > 300$ ). (Grabow et al., 2012)

### 3.2 Επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους αθλητές

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως είναι απολύτως λογικό, επηρεάζει και τους αθλητές. Το κύριο σύμπτωμα που μπορεί να εμφανίσουν είναι δυσκολία στην αναπνοή, καθώς οι περισσότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι κατά κύριο λόγο επηρεάζουν το αναπνευστικό σύστημα. Η γενικότερη συμβουλή είναι οι αθλητές και γενικότερα οι αθλούμενοι να αποφεύγουν να γυμνάζονται σε περιοχές ή κατά την διάρκεια επεισοδίων αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με σκοπό την προστασία της υγείας τους.

Από τους βασικότερους ατμοσφαιρικούς, όλοι σχεδόν επηρεάζουν την αθλητική επίδοση, άλλοι σε μεγαλύτερο βαθμό, άλλοι σε μικρότερο. Χαρακτηριστικά, το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) είναι καταστροφικό για την αθλητική απόδοση, αφού αποτρέπει την μεταφορά οξυγόνου στους μυς μέσω του αίματος. Αντίθετα, το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) και τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), παρόλο που είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο γενικότερα, πολύ σπάνιο βρίσκονται σε αρκετά υψηλό επίπεδο, ώστε να επηρεάσουν την αθλητική επίδοση. Το  $\text{SO}_2$  έχει μεγαλύτερη επίδραση στους ασθματικούς αθλητές. (Carlile, Sharp, 2001)

Το τροποσφαιρικό όζον ( $\text{O}_3$ ) έχει σοβαρή επίδραση στην αθλητική επίδοση καθώς και στην γενικότερη υγεία των αθλητών, καθώς εγκαθίσταται στους πνεύμονες. Ο τρόπος που λειτουργεί, υποδηλώνει πως μπορεί να επηρεάσει τους αθλητές ακόμα και όταν η συγκέντρωση του είναι αρκετά χαμηλή. Ομοίως, τα αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{PM}_{10}$ ) παίζουν σημαντικό ρόλο στην αθλητική επίδραση και αυτό συμβαίνει επειδή

αυξάνουν την συσσώρευση του μολύβδου στο αίμα, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση τους. Τέλος, τα VOC δεν έχουν μελετηθεί αρκετά ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα, αλλά η κυρίαρχη αντίληψη είναι ότι και αυτά θα επηρεάζουν αρνητικά την αθλητική επίδοση.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πρέπει να αποφεύγεται η άσκηση κατά την διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης, ακόμα και αν αυτά είναι ήπιας μορφής. Η παραπάνω σύσταση ισχύει ακόμα και για περιοχές με καλό έλεγχο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σε μία έρευνα στην Κίνα, αναζητήθηκε κατά πόσο οι ερασιτέχνες αθλητές προσπαθούν να αποφεύγουν την υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση όταν αθλούνται. Παρατηρήθηκε πως σε ώρες που υπάρχει αυξημένη ρύπανση, μειώνεται η πιθανότητα να βγουν να γυμναστούν σε εξωτερικό χώρο. Παρατηρήθηκε, όμως, πως αν τελικά αποφάσιζαν να βγουν σε εξωτερικό χώρο για άθληση, τότε δεν προσαρμόζαν την διάρκεια ή την απόσταση της προπόνησης τους. (Hu et al, 2017)

Ο έλεγχος των ωρών αυξημένης ρύπανσης είναι άκρως σημαντικός για τους αθλητές, ειδικά κατά την διάρκεια μεγάλων γεγονότων όπως ολυμπιακοί αγώνες και παγκόσμια πρωταθλήματα. Για τον λόγο αυτό, έχουν διεξαχθεί μελέτες που καθορίζουν τα μέγιστα επίπεδα εκπομπής ρύπων κοντά στους αθλητικούς χώρους και με βάση αυτά, προσαρμόζονται οι ώρες διεξαγωγής των αγωνισμάτων, με σκοπό τις καλύτερες δυνατές επιδόσεις. (Recce et al., 2020)

Το πόσο επηρεάζονται οι αθλητές από την ρύπανση, εξαρτάται κατά ένα μέρος και από το άθλημα που κάνουν. Έτσι, αθλητές που γυμνάζονται σε εξωτερικό χώρο και κοντά σε δρόμους, όπως οι ποδηλάτες ή οι δρομείς, αναμένεται να επηρεάζονται περισσότερο από άλλους που γυμνάζονται σε εσωτερικό χώρο, όπως οι μπασκετμπολίστες. Επίσης, άτομα που γυμνάζονται σε πισίνες, όπως κολυμβητές ή καταδύτες, εμφανίζουν συχνά συμπτώματα βρογχοσύσπασης που προκαλείται από την συχνή επαφή τους με το χλώριο της πισίνας. Τέλος, αθλητές που γυμνάζονται σε παγοδρόμια, όπως αθλητές του χόκεϊ επί πάγου, παγοδρόμοι και χορευτές στον πάγο, συχνά εμφανίζουν φαινόμενα δύσπνοιας ή βρογχοσύσπασης που προκαλούνται από τους ρύπους που παράγονται από τα μηχανήματα διατήρησης του πάγου σε στερεή μορφή. (Rundell, Anderson, Sue-Chu, Bougault, Boulet, 2015)

Γενικότερα, τα φαινόμενα της βρογχοσυστολής και του άσθματος λόγω της άθλησης, οφείλονται κυρίως στην παρουσία του όζοντος και των αιωρούμενων σωματιδίων. Επιπλέον, το τροποσφαιρικό όζον, μπορεί να οδηγήσει σε ανισορροπίες στο αυτόνομο νευρικό σύστημα, στον συμπαθητικό μυελικό άξονα επινεφριδίων και στον άξονα υποθαλάμου – υπόφυσης – επινεφριδίων. Τα συστήματα αυτά είναι μείζονος σημασίας για το συνολικό νευρικό σύστημα του ανθρώπου και είναι απολύτως αναμενόμενο να επηρεάζεται η αθλητική επίδοση, όταν αυτά δεν λειτουργούν στην καλύτερη δυνατή κατάσταση. (Wang et al., 2022)

Σε περίπτωση που ένας αθλητής παρουσιάζει αλλεργίες και αναπνευστικά προβλήματα, τότε επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από την ατμοσφαιρική ρύπανση, τόσο καθώς γυμνάζεται, όσο και στην καθημερινότητα του. Πιο συγκεκριμένα, σε αθλητές που παρουσιάζουν αλλεργίες του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος, έχει παρατηρηθεί στατιστικά σημαντική μείωση στην ένταση εκπνοής όταν στο περιβάλλον υπάρχουν αυξημένες τιμές διοξειδίου του αζώτου και αιωρούμενων σωματιδίων. Αντίθετα, σε αθλητές που δεν παρουσιάζουν αλλεργίες, η μείωση στην ικανότητα εκπνοής δεν ήταν στατιστικά σημαντική. (Kocot, Baranski, Melaniuk-Wolny, Zajusz-Zubek, Kowalska, 2021)

Σε άλλη έρευνα, έχει αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο η αυξημένη ρύπανση μειώνει την αθλητική ικανότητα. Σε γυμνασμένους ποδηλάτες, ανατέθηκε μια προπόνηση 90 λεπτών μέτριας έντασης, σε περιβάλλον είτε με καυσαέρια που σχετίζονται με αυτά που βρίσκονται σε ένα δρόμο, ή σε καθαρό αέρα. Κατά την διάρκεια της προπόνησης, έπαιρναν δείγμα αίματος ανά μισή ώρα, και παρατηρήθηκε πως στα πρώτα 30 λεπτά, οι μεταβολικές διαδικασίες της γλυκίνης και της σερίνης επηρεαζόταν σημαντικά, στα πρώτα 60 λεπτά, εκείνες της αργινίνης και της προλίνης επηρεαζόταν σημαντικά, ενώ στα 90 λεπτά η διαδικασία της γλυκόλυσης είχε σημαντικά μειωμένη απόδοση. (Cruz et al., 2021)

Παρόλα αυτά, η συστηματική άσκηση μπορεί να προστατεύει ως ένα βαθμό την υγεία του αθλούμενου. Το παραπάνω προκύπτει από έρευνα των Olivo et al. (2022) οι οποίοι πρότειναν πως η αερόβια προπόνηση μπορεί να δυναμώσει το ανοσοποιητικό σύστημα και τους πνεύμονες και να καθυστερήσει την παρουσία φλεγμονών που προκύπτουν από καυσαέρια. Παρόλα αυτά, από μόνη της η αερόβια προπόνηση δεν



είναι ικανή να αποτρέψει εντελώς τις βλάβες στους πνεύμονες και σε άλλες βιολογικές διαδικασίες.

### 3.3 Όχληση εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, εκτός από τα άμεσα αποτελέσματα της στον άνθρωπο, μπορεί να δημιουργήσει και το αίσθημα τη όχλησης, ειδικά μετά από μεγάλη έκθεση σε αυτήν. Τα ανθρώπινα αισθητήρια όργανα, είναι αρκετά ευαίσθητα ώστε να αντιλαμβάνονται την παρουσία μη καθαρού αέρα, ενώ φαίνεται ότι το όριο της όχλησης στον άνθρωπο από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι συχνά χαμηλότερο από τα όρια που έχουν θεσπιστεί από τους θεσμούς. Συνεπώς, πριν ακόμα η ρύπανση φτάσει σε επικίνδυνα επίπεδα, ο μέσος άνθρωπος θα το αντιληφθεί καθώς θα ενοχληθεί από αυτήν. (Amundsen, Klaeboe, Fihri, 2008)

Η όχληση λόγω της ρύπανσης, συνδέεται άμεσα με την όχληση εξαιτίας του θορύβου. Έχει παρατηρηθεί μάλιστα, πως σε μια πόλη, όσο αυξάνεται ο θόρυβος, τόσο οι κάτοικοι φαίνονται να ενοχλούνται από την ατμοσφαιρική ρύπανση, και αντίστροφα, όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση, τόσο ενοχλούνται από τους θορύβους (Klaeboe, Kolbenstvend, Clench, Bartonova, 2000). Επιπλέον, ο αυξημένος θόρυβος σε μια πόλη μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον ύπνο των κατοίκων λόγω όχλησης. (Shepherd et al., 2016).

Η ψυχολογική διάσταση της όχλησης από ρυπασμένη ατμόσφαιρα, μπορεί να είναι και σημαντικότερη σε σχέση με την βιοσωματική. (Rotko et al, 2002). Αυτό σημαίνει ότι το πώς αντιλαμβάνεται κάποιος την ποιότητα του αέρα, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις τόσο στην ψυχική, όσο και στη σωματική του υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές στην ψυχική υγεία, συνήθως οδηγούν σε αυξημένα επίπεδα στρες στους πολίτες (Klaeboe, Amundsen, Fihri, 2008)

Σε έρευνα των Stenlund, Liden, Andersson, Garvill, Nordin (2009) εξήχθη το συμπέρασμα, πως αν ο άνθρωπος πιστεύει πως βρίσκεται σε ρυπασμένο περιβάλλον, θα αντιλαμβάνεται περισσότερο την ατμοσφαιρική ρύπανση από ότι όταν πιστεύει ότι βρίσκεται σε λιγότερο ρυπασμένο. Για την έρευνα αυτή, αναλύθηκαν δεδομένα ενός

ερωτηματολογίου πριν και μετά το κλείσιμο μια μονάδας συσσωμάτωσης στη Σουηδία. Εκεί παρατηρήθηκε πως ακόμα και μετά το κλείσιμο της μονάδας, τα επίπεδα ατμοσφαιρικών ρύπων παρέμεναν υψηλά, ο πληθυσμός της περιοχής, όμως, αντιλαμβανόταν την ατμοσφαιρική ρύπανση αρκετά μειωμένη. Μια αντίστοιχη έρευνα των Egondi et al (2013) στην Κένυα, βρήκε ότι όσοι κατοικούσαν κοντά σε μια βιομηχανική περιοχή, αντιλαμβανόταν την ατμοσφαιρική ρύπανση πολύ πιο έντονα σε σχέση με εκείνους που ζούσαν πιο μακριά από την βιομηχανική περιοχή.

Μετά από αναζήτηση στην διεθνή βιβλιογραφία, βρέθηκαν και μελετήθηκαν έρευνες από αρκετά πανεπιστήμια που είχαν ως βασικό πυλώνα την όχληση εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι περισσότερες από αυτές ήταν δομημένες με βάση ένα ερωτηματολόγιο και μελετούσαν την συσχέτιση ανάμεσα στην αντιληπτόμενη ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και διάφορες άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως φύλο, ηλικία και ποιότητα ζωής.

Οι Llor et al., 2007 σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ισπανία σε έγκυες, παρατήρησαν πως οι σπιτονοικοκυρές ενοχλούνται αρκετά περισσότερο από ότι εκείνες που εργάζονται, ενώ παράλληλα συσχέτισαν την αυξημένη όχληση με τις γυναίκες που ζούσαν σε αστικό περιβάλλον, σε αντίθεση με εκείνες που ζούσαν εκτός πόλης.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 6 μεγάλες πόλης της Ευρώπης, ανάμεσα τους και η Αθήνα, παρατηρήθηκε πως οι γυναίκες, τα άτομα με αναπνευστικά προβλήματα και όσοι κατοικούν εντός πόλης, είναι πιθανό να ενοχλούνται περισσότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αντίθετα, δεν παρατήρησαν συσχέτιση ανάμεσα στην ηλικία, το μορφωτικό επίπεδο και εάν ο ερωτούμενος είναι καπνιστής ή όχι. (Rotko et al, 2002)

Μια ακόμα έρευνα σε Ευρωπαίους πολίτες, βρήκε συσχέτιση ανάμεσα σε αυξημένη όχληση από ατμοσφαιρική ρύπανση και το φύλο, με τις γυναίκες να ενοχλούνται περισσότερο, τα αναπνευστικά προβλήματα, την περιοχή κατοικίας, όπου όσοι ζούσαν εντός πόλης ενοχλούνται περισσότερο, τους μη καπνίζοντες και το υψηλότερο μορφωτικό επίπεδο. Επίσης, πρότειναν πως οι κάτοικοι της Βόρειας Ευρώπης, είναι πιο ανεκτικοί στην ατμοσφαιρική ρύπανση σε σχέση με τους κατοίκους της Νότιας Ευρώπης. (Jacquemin et al, 2007)

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Σεούλ της Νότιας Κορέας, παρατηρήθηκε συσχέτιση ανάμεσα στην ηλικία, όπου οι πιο νέοι ενοχλούνται περισσότερο, το υψηλότερο μορφωτικό επίπεδο και την οικονομική κατάσταση, με τα άτομα με χαμηλότερο εισόδημα να ενοχλούνται περισσότερο, καθώς κατά κύριο λόγο ζουν σε φτωχότερες περιοχές. (Kim, Yi, Kim, 2012)

Σε μεγάλη έρευνα στη Σουηδία, παρατηρήθηκε πως όσοι έχουν αναπνευστικά προβλήματα ή άσθμα, είναι πιθανό να ενοχλούνται περισσότερο από την ρύπανση του αέρα. Επιπλέον, οι γυναίκες και όσοι δεν έχουν πρόσβαση σε αυτοκίνητο και μετακινούνται με μέσα μεταφοράς, εμφανίζουν μεγαλύτερη όχληση στην ατμοσφαιρική ρύπανση. (Forsberg, Stjerjberg, Wall, 1997)

Τέλος, σε έρευνα σε τρεις μεγάλες πόλεις στην Κίνα, βρέθηκε πως αυξημένη όχληση από την ατμοσφαιρική ρύπανση, σχετίζεται με το φύλο, με τις γυναίκες να ενοχλούνται περισσότερο, την ηλικία, όπου οι γηραιότεροι ενοχλούνται περισσότερο και τα προβλήματα υγείας. (Liu et al., 2016)

### **3.4 Σύνοψη σχετικών ερευνών**

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω έρευνες, αυξημένη όχληση παρουσιάζουν κατά βάση οι γυναίκες σε σχέση με τους άντρες. Επιπλέον, όσοι πολίτες έχουν αναπνευστικά προβλήματα ή άσθμα, είναι πιθανό να ενοχλούνται περισσότερο. Μια ακόμα παράμετρος που ξεχώρισε, είναι ο τόπος κατοικίας των πολιτών, με αυτούς που μένουν εντός του αστικού ιστού να ενοχλούνται περισσότερο. Τέλος, το αυξημένο μορφωτικό επίπεδο φαίνεται να έχει θετική συσχέτιση με αυξημένη όχληση.

Αντίθετα, δεν είναι ξεκάθαρο εάν υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα τόσο στο κάπνισμα και την αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση όσο και την ηλικία και την αυξημένη ρύπανση, αφού υπάρχουν έρευνες που τα συσχετίζουν θετικά και άλλες που δεν βρίσκουν συσχέτιση μεταξύ τους.

## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Σκοπός

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, είναι η κατασκευή και ανάπτυξη μίας ψυχομετρικής κλίμακας, η οποία θα αναγνωρίζει και θα ερμηνεύει την σχέση μεταξύ της άθλησης, είτε σε εξωτερικό ή σε εσωτερικό χώρο, και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η κλίμακα αυτή θα εφαρμοστεί σε ερασιτέχνες αθλητές αθλημάτων αντοχής (τρέξιμο, ποδήλατο, κολύμβηση και τρίαθλο) σε διάφορες περιοχές στην Ελλάδα. Ο κύριος στόχος της κλίμακας θα είναι να βρεθεί συσχέτιση ανάμεσα σε αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση και πώς την αντιλαμβάνονται οι αθλούμενοι καθώς και πώς επηρεάζονται οι επιδόσεις τους και η διάθεσή τους για άθληση. Για τον σκοπό αυτό θα μελετηθεί και η αξιοπιστία και η εγκυρότητα της.

Η κλίμακα αυτή, θα είναι ποσοτική και θα μελετηθεί εκτός των άλλων η εγκυρότητα και η αξιοπιστία της. Μία κλίμακα χαρακτηρίζεται έγκυρη ή αληθής, όταν αντιπροσωπεύει επακριβώς τις διαστάσεις κάθε φαινομένου που σκοπεύει να περιγράψει ή να εξηγήσει σε θεωρητικό επίπεδο. Ουσιαστικά, η εγκυρότητα μιας κλίμακας εκφράζει τον βαθμό στον οποίο μετράει αυτό που υποτίθεται πως μετράει. Από την άλλη, μια κλίμακα είναι αξιόπιστη όταν είναι συνεπής σε αυτό που μετράει, δηλαδή η δυνατότητα της να δίνει τα ίδια αποτελέσματα αν επαναληφθεί.

### 4.2 Μέθοδος δειγματοληψίας και συμμετέχοντες

Στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν διακόσιοι ενενήντα δύο ( $N = 292$ ) ερασιτέχνες αθλητές αθλημάτων αντοχής (τρίαθλο, ποδηλασία, κολύμβηση μεγάλων αποστάσεων, τρέξιμο αποστάσεων), εκ των οποίων διακόσιοι είκοσι πέντε ( $n_1 = 225$ , ή ποσοστό 76,8 %) ήταν άνδρες και εξήντα επτά ( $n_2 = 67$ , ή ποσοστό 22,9 %) γυναίκες.

Σχετικά με την ηλικία των συμμετεχόντων στην έρευνα, υπήρξαν πενήντα εννέα ( $n = 59$ , ή ποσοστό 20,1 %) αθλητές από 19-35 ετών, διακόσιοι δεκατέσσερις ( $n = 214$ , ή ποσοστό 73,0 %) αθλητές από 35-55 ετών και δεκαεννέα ( $n = 19$ , ή ποσοστό 6,5 %) αθλητές από 55 ετών και άνω. Από τους συμμετέχοντες, οι εκατόν ογδόντα τέσσερις ( $n = 184$ , ή ποσοστό 62,8 %) ασχολούνται κυρίως με το τρέξιμο, οι πενήντα ( $n = 50$ , ή ποσοστό 17,1 %) με ποδηλασία, οι τέσσερις ( $n = 4$ , ή ποσοστό 1,4 %) με κολύμβηση και πενήντα τέσσερις ( $n = 54$ , ή ποσοστό 18,4 %) με το τρίαθλο.

Ο μέσος όρος ωρών προπόνησης των συμμετεχόντων ήταν  $M=7,36$  ώρες/ εβδομάδα, με  $SD=3,95$  και διακύμανση από 1 ώρα/εβδομάδα, έως 25 ώρες/εβδομάδα. Τέλος, σχετικά με τον τόπο κατοικία των συμμετεχόντων, οι εκατόν είκοσι πέντε ( $n = 125$ , ή ποσοστό 42,7 %) κατοικούν σε κέντρο πόλης, οι εκατόν τριάντα ( $n = 130$ , ή ποσοστό 44,4 %) περιαστικά ή σε προάστια πόλης, έντεκα ( $n = 11$ , ή ποσοστό 3,8 %) σε αγροτική περιοχή, και είκοσι έξι ( $n = 26$ , ή ποσοστό 8,9 %) κατοικούν σε χωριό ή οικισμό.

Στο παράρτημα 2 φαίνονται σε διαγράμματα τα αποτελέσματα των ανεξάρτητων μεταβλητών του ερωτηματολογίου.

#### **4.3 Μέσο συλλογής δεδομένων – Ανάπτυξη κλίμακας**

Το Ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη σκοπό έχει την καταγραφή τριών κατηγοριών που αναφέρονται: (α) στους παράγοντες που προκαλούν σωματική δυσφορία λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά την διάρκεια της προπόνησης, (β) στους παράγοντες που προκαλούν γενική δυσφορία λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά την διάρκεια της προπόνησης (γ) στους παράγοντες που δεν προκαλούν δυσφορία ή δεν επηρεάζουν την προπόνηση των αθλητών.

Το συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο αποτελείται από είκοσι πέντε (25) ερωτήσεις οι οποίες αναφέρονται σε παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την προπόνηση ενός αθλητή ή να τον ενοχλήσουν και σχετίζονται άμεσα με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Στις οδηγίες χορήγησης καλούνταν οι αθλητές που συμμετέχουν στην έρευνα να εκφράσουν τη δική τους προσωπική άποψη. Κάθε ερώτηση απαντάται με βάση την πενταβάθμια κλίμακα τύπου Likert από το 1 έως το 5, όπου ο αριθμός 1 αντιστοιχούσε στο «Δεν συμφωνώ καθόλου» και ενδιάμεσα υπήρχαν οι διαβαθμίσεις 2,3,4 μέχρι και τον αριθμό 5 που αντιστοιχούσε στην έκφραση «Συμφωνώ πάρα πολύ». Ενδεικτικά παραδείγματα ερωτήσεων που χρησιμοποιούνται στο ερωτηματολόγιο είναι: (1) «Με ενοχλεί η ρύπανση λόγω καυσαερίων όταν προπονούμαι», (2) «Νιώθω ότι είναι επικίνδυνο για την υγεία μου να προπονούμαι εν μέσω υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης», (3) «Νιώθω ότι δυσκολεύομαι περισσότερο

σε υψηλής έντασης προπονήσεις σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση» και (4) «Με ενοχλούν οι οσμές (από σκουπίδια κτλ.) όταν προπονούμαι».

#### 4.4 Διαδικασία ανάπτυξης και χορήγησης του ερωτηματολογίου

Για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης ψυχομετρικής κλίμακας απαιτείται η δημιουργία ενός ερωτηματολογίου. Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει δυο κυρίως μέρη. Α) το προπαρασκευαστικό στάδιο, στο οποίο έγιναν όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την δημιουργία και την αξιολόγηση του ερωτηματολογίου, και Β) το κυρίως μέρος, στο οποίο το έτοιμο πλέον ερωτηματολόγιο, χορηγήθηκε σε αθλητές μέσω κοινωνικών δικτύων (social media – Facebook, Instagram).

Το πρώτο προπαρασκευαστικό στάδιο διαχωρίζεται σε 4 διακριτικά μέρη. Στο πρώτο, έγινε βιβλιογραφική αναζήτηση των κυρίως ερωτημάτων, ώστε να δημιουργηθεί μια δεξαμενή ερωτήσεων (item pool). Οι ερωτήσεις αυτές προέκυψαν μετά από αναζήτηση αντίστοιχων κλιμάκων που έχουν δημιουργηθεί στο παρελθόν από άλλους ερευνητές. Στη συνέχεια, στο δεύτερο μέρος, ερωτήθηκαν με ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, ένα μικρό δείγμα αθλητών (6 άτομα), με σκοπό να γίνουν διακριτά και άλλα ερωτήματα και να εμπλουτιστεί περαιτέρω το κυρίως ερωτηματολόγιο. Οι ερωτήσεις ήταν οι παρακάτω: 1) Τι σε ενοχλεί όσο αναφορά την ατμοσφαιρική ρύπανση/κίνηση/θόρυβο/οσμές κτλ, κατά την διάρκεια της άθλησης σου (κυρίως τρέξιμο και ποδήλατο); 2) Πόσο και πως πιστεύεις ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει τις επιδόσεις σου (πχ αυξημένους καρδιακούς παλμούς κτλ; 3) Έχεις κάτι άλλο να προσθέσεις που να σχετίζεται με την άθληση κατά την διάρκεια αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης ; Οι αθλητές απάντησαν στα παραπάνω χωρίς να ξέρουν ότι οι απαντήσεις τους θα συμβάλλουν στην δημιουργία της κλίμακας, ενώ τους ζητήθηκε η άποψη τους να είναι καθαρά υποκειμενική και να μην επηρεαστεί από ότι μπορεί να έχουν ακούσει.

Στο τρίτο μέρος αξιολογήθηκαν οι απαντήσεις στις παραπάνω ερωτήσεις, σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή, καθώς και οι ερωτήσεις που έχουν ήδη δημιουργηθεί μέσω της βιβλιογραφικής αναζήτησης. Ορισμένες ερωτήσεις αποκλείστηκαν επειδή υπήρχαν άλλες που θα πετύχαιναν ίδιο αποτέλεσμα. Άλλες ερωτήσεις αποκλείστηκαν γιατί δεν ταίριαζαν στο ύφος και τα προσδοκώμενα αποτελέσματα της κλίμακας. Τέλος, έγινε η τελική σύνταξη του ερωτηματολογίου.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος του πρώτου σταδίου, έγινε πειραματική χορήγηση του σε ένα μικρό δείγμα αθλητών (25 αθλητές), με σκοπό την επιβεβαίωση ότι θα υπάρχει διακύμανση στις απαντήσεις και να εμφανιστούν τυχόν προβλήματα με το ερωτηματολόγιο που πριν δεν είχαν παρατηρηθεί. Το δείγμα των αθλητών προήλθε από την τοπική ποδηλατική ομάδα και την τοπική δρομική ομάδα της Κέρκυρας. Στους αθλητές ζητήθηκε να απαντήσουν το ερωτηματολόγιο και να τονίσουν αν υπάρχουν πιθανά προβλήματα και αν θα ήθελα να προσθέσουν κάποια ερώτηση που πιθανώς είχε παραβλεφθεί. Τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής έρευνας κρίθηκαν ικανοποιητικά και η διακύμανση των απαντήσεων ήταν ικανοποιητική και έτσι το ερωτηματολόγιο πέρασε στο δεύτερο στάδιο που ήταν η χορήγηση του στο κυρίως δείγμα αθλητών.

Στο δεύτερο στάδιο έγινε η χορήγηση του ερωτηματολογίου στο κυρίως δείγμα αθλητών μέσω των κοινωνικών δικτύων. Οι αθλητές στους οποίους στάλθηκε το ερωτηματολόγιο είναι κυρίως ερασιτέχνες δρομείς, ποδηλάτες κολυμβητές και τριαθλητές. Η χορήγηση του ερωτηματολογίου έγινε μέσω από ομάδες στο Facebook και Instagram στις οποίες δραστηριοποιούνται ερασιτέχνες αθλητές και ανταλλάσσουν απόψεις και ιδέες.

Το ερωτηματολόγιο αποτελούταν Α) από ερωτήσεις δημογραφικού χαρακτήρα (φύλο, ηλικία, πόλη, είδος και ώρες άθλησης κτλ) με σκοπό να οριστούν οι ανεξάρτητες μεταβλητές της έρευνας και Β) από τις είκοσι πέντε (25) ερωτήσεις που συστήθηκαν στο πρώτο στάδιο. Υπολογίζεται, η συμπλήρωση του να χρειάστηκε περίπου 5-7 λεπτά. Στον παρακάτω Πίνακα 3 φαίνονται τα 25 ερωτήματα του ερωτηματολογίου, με την σειρά που χορηγήθηκαν στους συμμετέχοντες.

<b>Πόσο συμφωνείς με τις παρακάτω προτάσεις;</b>	Δεν συμφωνώ καθόλου			Συμφωνώ πάρα πολύ	
1..Με ενοχλεί η ρύπανση λόγω καυσαερίων όταν προπονούμαι.	1	2	3	4	5
2..Με ενοχλεί η ρύπανση λόγω καμινάδων (τζάκια κτλ.) όταν προπονούμαι.	1	2	3	4	5
3.. Νιώθω ότι είναι επικίνδυνο για την υγεία μου να προπονούμαι εν μέσω υψηλής ατμοσφαιρικής ρύπανσης.	1	2	3	4	5
4..Νιώθω πιο κουρασμένος όταν προπονούμαι σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη	1	2	3	4	5

ατμοσφαιρική ρύπανση.					
5..Δεν με ενοχλεί ο θόρυβος όταν προπονούμαι.	1	2	3	4	5
6..Νιώθω ότι δυσκολεύομαι περισσότερο σε υψηλής έντασης προπονήσεις σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
7..Νιώθω ότι δυσκολεύομαι περισσότερο σε χαμηλής έντασης προπονήσεις σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
8..Δεν νιώθω ότι έχω πτώση στις επιδόσεις μου (πχ. ρυθμό τρεξίματος κτλ) σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
9..Δεν με ενοχλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση όταν προπονούμαι το βράδυ.	1	2	3	4	5
10..Νιώθω τσούξιμο στα μάτια, μύτη κτλ όταν προπονούμαι σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
11..Δεν νιώθω ότι έχω μειωμένη αποκατάσταση (αυξημένους πόνους στα πόδια κτλ) μετά από την προπόνηση σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
12..Με ενοχλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση όταν προπονούμαι σε εσωτερικό χώρο.	1	2	3	4	5
13..Με ενοχλούν οι οσμές (από σκουπίδια κτλ.) όταν προπονούμαι.	1	2	3	4	5
14..Με ενοχλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση, γι'αυτό προσαρμόζω τις ώρες προπόνησης μου ώστε να αποφεύγω τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης.	1	2	3	4	5
15..Νιώθω ότι έχω χειρότερη ποιότητα ύπνου σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
16..Με ενοχλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση, γι'αυτό προπονούμαι σε εσωτερικό χώρο.	1	2	3	4	5
17..Δεν με ενοχλεί η ρύπανση από συσκευές θέρμανσης / ψύξης όταν προπονούμαι σε εσωτερικό χώρο.	1	2	3	4	5
18..Νιώθω ότι για την ίδια ένταση προπόνησης, έχω υψηλότερους καρδιακούς παλμούς σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
19..Νιώθω πόνους στους μυς, στήθος κτλ όταν προπονούμαι σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
20..Με ενοχλεί η ρύπανση λόγω σκόνης / γύρης όταν προπονούμαι.	1	2	3	4	5
21..Δεν νιώθω ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μου δυσχεραίνει την προπόνηση.	1	2	3	4	5
22..Νιώθω πονοκέφαλο, ναυτία κτλ όταν προπονούμαι σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
23..Με ενοχλεί η ατμοσφαιρική ρύπανση και γι'αυτό επιλέγω να προπονούμαι σε βουνό.	1	2	3	4	5
24..Δεν νιώθω μειωμένη όρεξη για προπόνηση σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5
25..Νιώθω δυσκολία στην αναπνοή κατά την άσκηση σε μέρες που αισθάνομαι αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση.	1	2	3	4	5

Πίνακας 3: Η τελική σύνθεση των 25 ερωτημάτων του ερωτηματολογίου, όπως αυτά χορηγήθηκαν στους συμμετέχοντες.



## 4.5 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης

### 4.5.1 Προκαταρκτικοί έλεγχοι της παραγοντικής ανάλυσης.

Για τον έλεγχο της δομικής εγκυρότητας του ερωτηματολογίου, χρησιμοποιήθηκαν δύο τεστ που αφορούν στην καταλληλότητα της κλίμακας και την επάρκεια του χρησιμοποιούμενου δείγματος για παραγοντική ανάλυση. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε: (α) ο έλεγχος της σφαιρικότητας (test of sphericity) του Bartlett για τον έλεγχο τις ανεξαρτησίας των μεταβλητών μεταξύ τους και (β) το κριτήριο KMO για τον έλεγχο της επάρκειας-καταλληλότητας του δείγματος (Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy). (Γκικόσος Ι., 2009)

### 4.5.2 Δομική εγκυρότητα των ερωτηματολογίων/οργάνων μέτρησης.

Η μέθοδος ανάλυσης των κυρίων συνιστωσών (principal component analysis) επιλέχθηκε προκειμένου να εξετασθεί η παραγοντική δομή, και εν γένει η δομική εγκυρότητα των ερωτηματολογίων, χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα Statistical Package for Social Science (SPSS; Version 13.0). Με σκοπό των προσδιορισμό του αριθμού των παραγόντων του ερωτηματολογίου χρησιμοποιήθηκε τόσο η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών, όσο και η παραγοντική ανάλυση με πλάγια περιστροφή των αξόνων. Η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών είναι η μέθοδος που ερμηνεύει τόσο την κοινή (common), όσο και την μοναδική (unique) διακύμανση που παρουσιάζεται σε κάθε παραγοντική δομή. Επιπρόσθετα, η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών προσδιορίζει τον αριθμό των παραγόντων που θα πρέπει να εξαχθούν από την ανάλυση και για το λόγο αυτό επιλέγονται διαφορετικές μέθοδοι περιστροφής των αξόνων. Ωστόσο, η μοναδική διακύμανση μπορεί να οφείλεται στη λανθασμένη διακύμανση (error variance) (Kline, 1994). Για το λόγο αυτό, η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών επιλέχθηκε για την περαιτέρω διερεύνηση την δομικής εγκυρότητας των ερωτηματολογίων. Αυτή η στατιστική μέθοδος έχει πλεονέκτημα έναντι της παραγοντικής ανάλυσης, επειδή εξετάζει την κοινή διακύμανση εντός της παραγοντικής δομής του συγκεκριμένου ερωτηματολογίου, ενώ θεωρείται η κατάλληλη μέθοδος όταν δεν υπάρχουν προηγούμενα ερευνητικά αποτελέσματα σχετικά με την παραγοντική δομή ενός οργάνου μέτρησης. Επίσης, τόσο η ορθογώνια περιστροφή (varimax rotation), όσο και η πλάγια περιστροφή [oblimin rotation ( $\delta=0$ )] των αξόνων πραγματοποιήθηκε για τον καθορισμό των

αλληλοσυσχετίσεων των παραγόντων και το βαθμό της συσχέτισης (Fabrigar, Wegener, MacCallum, & Strahan, 1999).

Για την επιλογή του αριθμού των παραγόντων χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα πέντε κριτήρια: (1) το σχεδιάγραμμα ιδιοτιμών (scree plot test), (2) ο κανόνας της ιδιοτιμής του παράγοντα πάνω από 1 (eigenvalue-greater-than-one rule), (3) το ποσοστό της ερμηνευόμενης διακύμανσης του κάθε παράγοντα, (4) το ποσοστό της συνολικής ερμηνευόμενης διακύμανσης από τους εξαχθέντες παράγοντες, και (5) τον αριθμό των παραγόντων οι οποίοι εννοιολογικά μπορούν να ερμηνευθούν (Nunnally & Bernstein, 1994; Tinsley & Tinsley, 1987). Επίσης, τα συγκεκριμένα κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να είναι αποδεκτή η παραγοντική δομή του ερωτηματολογίου: (1) η φόρτιση του ερωτήματος στον παράγοντα να είναι πάνω από την τιμή .40 (Tabachnick & Fidell, 2006) και (2) η κοινότητα διακύμανσης (communality;  $h^2$ ) του κάθε ερωτήματος να είναι πάνω από την τιμή .30 (Kline, 1994).

#### **4.5.3 Εσωτερική συνέπεια & αξιοπιστία των ερωτηματολογίων.**

Για τη μέτρηση της εσωτερικής συνέπειας (internal consistency) και της αξιοπιστίας (reliability) των ερωτηματολογίων, που αφορά την ομοιογένεια των απαντήσεων στα ερωτήματα των οργάνων μέτρησης, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι: (α) η μέθοδος α του Cronbach, (β) ο έλεγχος των συσχετίσεων μεταξύ των ερωτημάτων κάθε κλίμακας (inter-item correlation) και (γ) ο έλεγχος των διορθωμένων συσχετίσεων του κάθε ερωτήματος με τη συνολική τιμή της κλίμακας (corrected item-total correlations) για την εκτίμηση της συμβολής κάθε ερωτήματος στην κλίμακα.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1 Εγκυρότητα του ερωτηματολογίου – Διερευνητική παραγοντική ανάλυση.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου σφαιρικότητας του Bartlett's (2284.721,  $df$  300,  $p < .00001$ ) οδηγούν στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης (Tabachnick & Fidell, 2006) ότι οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, ενώ η τιμή του κριτηρίου  $KMO = .882$  είναι σε απόλυτα ικανοποιητικό επίπεδο (Kaiser, 1974). Η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών, σύμφωνα με τα κριτήρια επιλογής παραγόντων που αναφέρθηκαν (διάγραμμα ιδιοτιμών, ιδιοτιμή παράγοντα πάνω από 1, ποσοστό ερμηνευόμενης διακύμανσης ανά παράγοντα, συνολική ερμηνευόμενη διακύμανση, εννοιολογική ερμηνεία παραγόντων) (Kline, 1994· Nunnally & Bernstein, 1994· Tabachnick & Fidell, 2006· Tinsley & Tinsley, 1987· Tucker, Koopman, & Linn, 1969) υποστήριξε την ύπαρξη τριών (3) παραγόντων που ερμηνεύουν το 36.269% της συνολικής διακύμανσης. Οι φορτίσεις των ερωτημάτων και οι κοινότητες διακύμανσης των ερωτημάτων κυμάνθηκαν από .358 έως .821 για τον πρώτο παράγοντα, από .375 έως .611 για τον δεύτερο και από .376 έως .765 για τον τρίτο. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν την ύπαρξη προβλημάτων σε ορισμένα ερωτήματα του ερωτηματολογίου και με βάση στατιστικά κριτήρια, όπως οι φορτίσεις και οι κοινότητες διακύμανσης των ερωτημάτων, αλλά και εννοιολογικά κριτήρια πέντε (5) ερωτήματα αποκλείστηκαν από τις περαιτέρω αναλύσεις της έρευνας. Τα ερωτήματα που αποκλείστηκαν ήταν το ερώτημα 4, ερώτημα 11, ερώτημα 12, ερώτημα 17 και ερώτημα 25.

Με βάση τα αποτελέσματα της πρώτης ανάλυσης κυρίων συνιστωσών, στα εναπομείναντα είκοσι (20) ερωτήματα ελέγχθηκε εκ νέου η παραγοντική τους δομή. Τα σημαντικά αποτελέσματα από τον έλεγχο της σφαιρικότητας του Bartlett's (1636.864,  $df$  190,  $p < .00001$ ) οδηγούν στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ότι οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, ενώ η τιμή του κριτηρίου  $KMO = .872$  είναι σε απόλυτα ικανοποιητικό επίπεδο. Σύμφωνα με την ανάλυση των κυρίων συνιστωσών επιλέχθηκαν τρεις (3) παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 37.111% της συνολικής ερμηνευόμενης διακύμανσης. Τα αποτελέσματα της επιλογής δύο παραγόντων καθώς και των φορτίσεων και κοινοτήτων διακύμανσης των ερωτημάτων των παραγόντων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

<b>Ερωτήματα</b>	<b>1<sup>ος</sup> παράγοντας: Σωματική δυσφορία</b>	<b>2<sup>ος</sup> παράγοντας: Απουσία δυσφορίας</b>	<b>3<sup>ος</sup> παράγοντας: Γενική δυσφορία</b>	<b><math>h^2</math></b>
22	.806			.597
19	.757			.467
18	.648			.431
15	.601			.524
16	.479			.240
10	.475			.409
14	.439			.366
23	.427			.284
20	.363			.315
8		.595		.365
21		.565		.334
9		.495		.270
24		.455		.209
5		.431		.206
1			-.792	.567
3			-.606	.401
2			-.578	.370
6			-.551	.566
13			-.383	.215

7			-.332	.287
Ιδιοτιμές	5.232	1.173	1.017	
% ερμηνευμένης διακύμανσης	26.158	5.865	5.087	

Πίνακας 4. Φορτίσεις (loadings) και κοινότητες διακύμανσης (communalities) των ερωτημάτων του ερωτηματολογίου

(Στον Πίνακα παρουσιάζονται οι φορτίσεις των ερωτημάτων άνω του .30)

## 5.2 Αξιοπιστία του Ερωτηματολογίου.

Κατόπιν της τελικής επιλογής των ερωτημάτων με βάση της ανάλυση κυρίων συνιστωσών του ερωτηματολογίου ελέγχθηκε ο βαθμός αξιοπιστίας των παραγόντων του ερωτηματολογίου που χορηγήθηκε στους αθλητές. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των μεθόδων ελέγχου της αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5. Οι δείκτες είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο, ενώ παράλληλα, η τιμή  $\alpha$  του Cronbach, ως βασικός δείκτης της εσωτερικής συνέπειας ενός ερωτηματολογίου, κυμάνθηκε σε ικανοποιητικό επίπεδο (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1998; Nunnally & Bernstein, 1994) για κάθε έναν από τους τρεις παράγοντες. Επίσης, οι συσχετίσεις των ερωτημάτων με την κλίμακα, καθώς και οι συσχετίσεις των ερωτημάτων του κάθε παράγοντα μεταξύ τους κυμάνθηκαν επίσης σε απόλυτα ικανοποιητικό επίπεδο. Τέλος, στο παράρτημα 1, φαίνονται τα μέτρα κεντρικής τάσης, οι απόλυτες και οι σχετικές συχνότητες των απαντήσεων του ερωτηματολογίου.

	Συσχετίσεις ερωτημάτων κλίμακας Mean (Min - Max)	Συσχετίσεις ερωτημάτων-κλίμακας Mean (Min - Max)	$\alpha$ Cronbach
Σωματική δυσφορία	.374 (.201 - .558)	.628 (.333 - .933)	.841
Απουσία δυσφορίας	.266 (.157 - .376)	.452 (.282 - .593)	.642
Γενική δυσφορία	.364 (.191 - .498)	.429 (.218 - .752)	.766

Πίνακας 5. Δείκτες αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου για τους 3 παράγοντες

Χρησιμοποιήθηκε Πολυμεταβλητή Ανάλυση Διακύμανσης (MANOVA) για να εξετασθούν ενδεχόμενες διαφυλικές διαφορές στις τιμές των ερωτηματολογίων. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς το φύλο σε σχέση με τις τιμές στους παράγοντες: 1) Σωματική δυσφορία ( $F_{1,290}=.585$ ,  $p=.445$ ), 2) Απουσία δυσφορίας ( $F_{1,290}=.485$ ,  $p=.487$ ) και 3) Γενική δυσφορία ( $F_{1,290}=.002$ ,  $p=.965$ ). Συνεπώς δεν προκύπτει διαφυλική επίδραση στις τιμές των παραγόντων.

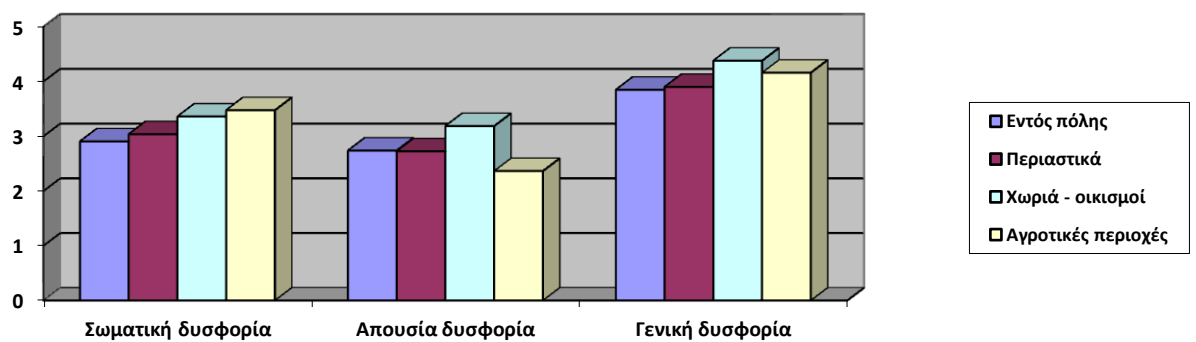
Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson για να εξετασθούν πιθανές συσχετίσεις ανάμεσα στις ώρες προπόνησης του κάθε αθλούμενου και τις τιμές των ερωτηματολογίων. Σε κανέναν από τους τρεις παράγοντες δεν παρατηρήθηκε ισχυρή συσχέτιση: 1) Σωματική δυσφορία ( $R=.005$ ,  $p=.937$ ), 2) Απουσία δυσφορίας ( $R=-.109$ ,  $p=.062$ ) και 3) Γενική δυσφορία ( $R=-.023$ ,  $p=.692$ ). Και στις τρεις περιπτώσεις ο συντελεστής R είναι μικρότερος του .20, συνεπώς δεν προκύπτει συσχέτιση των ωρών προπόνησης με τις τιμές του ερωτηματολογίου.

Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) με σκοπό να εξετασθούν διαφορές στις τιμές του ερωτηματολογίου σε σχέση με το κύριο άθλημα του κάθε αθλούμενου. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς το άθλημα σε σχέση με τις τιμές του ερωτηματολογίου: 1) Σωματική δυσφορία ( $F_{3,288}=.034$ ,  $p=.991$ ), 2) Απουσία δυσφορίας ( $F_{3,288}=.459$ ,  $p=.711$ ) και 3) Γενική δυσφορία ( $F_{3,288}=.331$ ,  $p=.803$ ). Συνεπώς δεν προκύπτει επίδραση του εκάστοτε αθλήματος στις τιμές των παραγόντων.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε νέος έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) με σκοπό να εξετασθούν διαφορές στις τιμές του ερωτηματολογίου σε σχέση με τον τόπο κατοικίας κάθε αθλούμενου. Εδώ παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους αθλούμενους που κατοικούν εντός πόλης, περιαστικά ή στα προάστια πόλης, σε αγροτικές περιοχές ή σε χωριά - οικισμούς.

Η ανάλυση ANOVA έδειξε: για τον 1<sup>ο</sup> παράγοντα (Σωματική δυσφορία) ( $F_{3,288}=3.245$ ,  $p=.022$ ) με τους κατοίκους εντός πόλης να σημειώνουν χαμηλότερες τιμές ( $M = 2.9054$ ), τους κατοίκους περιαστικών περιοχών ( $M = 3.0359$ ), τους κατοίκους χωριών - οικισμών ( $M = 3.3590$ ) και τους κατοίκους αγροτικών περιοχών να σημειώνουν τις υψηλότερες τιμές ( $M = 3.4747$ ). Για τον 2<sup>ο</sup> παράγοντα (Απουσία δυσφορίας) ( $F_{3,288}=3.225$ ,  $p=.023$ ) με τους κατοίκους εντός πόλης να σημειώνουν ( $M$

= 2.7376), τους κατοίκους περιαστικών περιοχών ( $M = 2.7246$ ), τους κατοίκους χωριών – οικισμών τις υψηλότερες τιμές ( $M = 3.1846$ ) και τους κατοίκους αγροτικών περιοχών να σημειώνουν τις χαμηλότερες τιμές ( $M = 2.3636$ ). Τέλος, για τον 3<sup>ο</sup> παράγοντα (Γενική δυσφορία) ( $F_{3,288}=2.673$ ,  $p=.048$ ) με τους κατοίκους εντός πόλης να σημειώνουν τις χαμηλότερες τιμές ( $M = 3.8493$ ), τους κατοίκους περιαστικών περιοχών ( $M = 3.9000$ ), τους κατοίκους χωριών – οικισμών τις υψηλότερες τιμές ( $M = 4.3788$ ) και τους κατοίκους αγροτικών περιοχών ( $M = 4.1603$ ). Από τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αντιληπτή ατμοσφαιρική ρύπανση ανάμεσα στα άτομα που ζουν εντός του ιστού των πόλεων και άτομα που ζουν εκτός αυτού. Στο παρακάτω διάγραμμα 1 φαίνεται η διακύμανση των μέσων όρων των ερωτηματολογίων των αθλούμενων, ανάλογα με την περιοχή κατοικίας τους.



Διάγραμμα 1: Διακύμανση μέσων όρων των ερωτηματολογίων των αθλούμενων, ανάλογα με την περιοχή κατοικίας τους.

Ένας ακόμα έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) με σκοπό να εξετασθούν διαφορές στις τιμές του ερωτηματολογίου σε σχέση με το εάν εμφανίζουν οι αθλούμενοι αλλεργίες. Και εδώ υπάρχει μια σημαντική στατιστικά παράμετρος, στον πρώτο παράγοντα, τον παράγοντα της σωματικής δυσφορίας. Τα αποτελέσματα του έλεγχου είναι ( $F_{1,290}=4.989$ ,  $p=.026$ ) στατιστικά σημαντικά και δείχνουν πως αθλούμενοι που εμφανίζουν αλλεργίες ( $M = 3.3525$ ) έχουν μεγαλύτερη σωματική δυσφορία σε σχέση με αυτούς που δεν έχουν αλλεργίες ( $M = 2.9839$ ). Αντίθετα, στους άλλους δύο παράγοντες, δεν εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους αθλούμενους που παρουσιάζουν αλλεργίες και εκείνους που δεν

παρουσιάζουν. Πιο συγκεκριμένα, για τον 2<sup>ο</sup> παράγοντα (Απουσία δυσφορίας) ( $F_{1,290}=2.271$ ,  $p=.133$ ), ενώ για τον 3<sup>ο</sup> παράγοντα (Γενική δυσφορία) ( $F_{1,290}=.768$ ,  $p=.382$ ).

Ομοίως, πραγματοποιήθηκε ένας ακόμα έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) με σκοπό να εξετασθούν διαφορές στις τιμές του ερωτηματολογίου σε σχέση με το εάν εμφανίζουν οι αθλούμενοι αναπνευστικά προβλήματα. Σε αυτόν τον έλεγχο, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους αθλητές με αναπνευστικά προβλήματα και εκείνους χωρίς. Για τον πρώτο παράγοντα (Σωματική δυσφορία) ( $F_{1,290}=3.440$ ,  $p=.065$ ), για τον δεύτερο παράγοντα (Απουσία δυσφορίας) ( $F_{1,290}=.644$ ,  $p=.423$ ), ενώ για τον 3<sup>ο</sup> παράγοντα (Γενική δυσφορία) ( $F_{1,290}=.031$ ,  $p=.859$ ).

Ομοίως, πραγματοποιήθηκε νέος έλεγχος ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) με σκοπό να εξετασθούν διαφορές στις τιμές του ερωτηματολογίου σε σχέση με το εάν οι αθλητές είναι καπνιστές ή όχι. Σε αυτόν τον έλεγχο, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο γκρουπ. Για τον πρώτο παράγοντα (Σωματική δυσφορία) ( $F_{1,292}=.042$ ,  $p=.838$ ), για τον δεύτερο παράγοντα (Απουσία δυσφορίας) ( $F_{1,295}=.016$ ,  $p=.901$ ), ενώ για τον 3<sup>ο</sup> παράγοντα (Γενική δυσφορία) ( $F_{1,292}=2.906$ ,  $p=.089$ ).



## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα έρευνα σκοπό έχει τη μελέτη της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας μέσω του ελέγχου των ψυχομετρικών χαρακτηριστικών και δεικτών ενός ερωτηματολογίου, με σκοπό την ανάπτυξη ψυχομετρικής κλίμακας που θα μετράει πως αντιλαμβάνονται τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οι ερασιτέχνες αθλητές..

Τα αποτελέσματα έδειξαν ικανοποιητικούς συντελεστές εσωτερικής συνέπειας και αξιοπιστίας, ενώ η δομή του ερωτηματολογίου είναι πολυπαραγοντική. Η λύση της παραγοντικής ανάλυσης με επιλογή τριών (3) παραγόντων, σύμφωνα με θεωρητικά αλλά και τα στατιστικά κριτήρια, ερμηνεύει ικανοποιητικό βαθμό της συνολικής διακύμανσης οι οποίοι είναι εύκολα ερμηνεύσιμοι, και επιβεβαιώνουν την πολυπαραγοντική δομή του ερωτηματολογίου. Τα αποτελέσματα της διερευνητικής παραγοντικής ανάλυσης έδειξαν την ύπαρξη αρκετά υψηλών φορτίσεων των ερωτημάτων στον παράγοντά τους σημειώνοντας την αποδεκτή αξιοπιστία και εγκυρότητα του συγκεκριμένου ερωτηματολογίου για περαιτέρω έρευνα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αξιοπιστίας (συσχετίσεις των ερωτημάτων του παράγοντα, συσχετίσεις των ερωτημάτων με τον παράγοντα, Cronbach  $\alpha$ ) έδειξαν ότι το ερωτηματολόγιο είναι αξιόπιστο αφού οι τιμές των παραγόντων ήταν σε απόλυτα ικανοποιητικό επίπεδο. Η στατιστική ανάλυση του ερωτηματολογίου έδειξε την ύπαρξη τριών παραγόντων.

Ειδικότερα, ο πρώτος παράγοντας με τον ονομασία «Σωματική δυσφορία» αποτελείται από εννέα (9) ερωτήματα και αναφέρεται στην σωματική δυσφορία που αισθάνονται οι αθλούμενοι, καθώς αθλούνται σε συνθήκες υψηλής ρύπανσης. Ο δεύτερος παράγοντας «Απουσία δυσφορίας» περιλαμβάνει πέντε (5) ερωτήματα και αναφέρεται στην απουσία αντίληψης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς προπονούνται. Ο τρίτος παράγοντας με τίτλο «Γενική δυσφορία» αποτελείται από έξι (6) ερωτήματα και αναφέρεται στο γενικό αίσθημα δυσφορίας που αντιμετωπίζουν οι αθλούμενοι όταν γυμνάζονται κάτω από συνθήκες αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση διακύμανσης των σκορ του ερωτηματολογίου σε σχέση με διάφορες ανεξάρτητες μεταβλητές, μέσω των ελέγχων ανάλυσης διακύμανσης ANOVA και πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης

MANOVA. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Pearson ( $r$ ) με σκοπό την εμφάνιση τυχών συσχετίσεων των σκορ του ερωτηματολογίου με τις ώρες προπόνησης κάθε αθλούμενου.

Αρχικά με τον έλεγχο πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης MANOVA αναζητήθηκαν διαφυλικές ανάμεσα στα σκορ των απαντήσεων του ερωτηματολογίου. Ο έλεγχος έδειξε πως δεν υπάρχουν διαφυλικές διαφορές ανάμεσα στους αθλούμενους, και έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες βιβλιογραφικές αναφορές, που αναφέρουν ότι γενικότερα οι γυναίκες είναι πιο ευαίσθητες στις συνθήκες ατμοσφαιρικής ρύπανσης. (Llop et al., 2007, Rotko et al, 2002, Jacquemin et al, 2007, Forsberg, Stjerjberg, Wall, 1997). Αυτό το γεγονός μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως το δείγμα των αθλητών που συμμετείχαν στην έρευνα, δεν ήταν ισόποσα κατανομημένο ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Pearson ( $r$ ) με σκοπό την εμφάνιση τυχών συσχετίσεων των σκορ του ερωτηματολογίου με τις ώρες προπόνησης κάθε αθλούμενου και εδώ δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση ανάμεσα στις εβδομαδιαίες ώρες προπόνησης και την αντιληπτή ατμοσφαιρική ρύπανση.

Έπειτα, αναζητήθηκε συσχέτιση μέσω του ελέγχου ανάλυσης διακύμανσης ANOVA, ανάμεσα στις απαντήσεις που έδωσαν οι αθλητές στο ερωτηματολόγιο και τα άθλημα αντοχής στο οποίο δραστηριοποιούνται. Και σε αυτόν τον έλεγχο, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στα αθλήματα, παρόλο που από την βιβλιογραφία (Rundell et al., 2015) προκύπτει ότι οι αθλητές που γυμνάζονται κάτω από συνθήκες ξηρού αέρα, όπως σε παγοδρόμια ή πισίνες, είναι πιο ευαίσθητοι στην εμφάνιση άσθματος εξαιτίας της άσκησης. Αντίθετα, δεν προκύπτει από την βιβλιογραφία διαφορά ανάμεσα σε αθλητές των διαφόρων αθλημάτων αντοχής, ανάλογα με τον τόπο άθλησης ή την ποιότητα τους ατμοσφαιρικού αέρα.

Στη συνέχεια, μέσω νέου ελέγχου ανάλυσης διακύμανσης ANOVA ανάμεσα στην περιοχή κατοικίας των αθλούμενων και τα σκορ του ερωτηματολογίου, παρατηρήθηκε πως γενικά όσοι μένουν σε χωριά, οικισμούς και αγροτικές περιοχές, αντιλαμβάνονται σημαντικά περισσότερο την ατμοσφαιρική ρύπανση όταν αθλούνται σε σχέση με εκείνους που κατοικούν εντός ή περιφερειακά των πόλεων. Το

παραπάνω έρχεται σε αντίθεση με τις βιβλιογραφικές αναφορές για τον γενικό πληθυσμό, που θεωρούν πως οι κάτοικοι εντός πόλης αντιλαμβάνονται σε μεγαλύτερο βαθμό την ατμοσφαιρική ρύπανση στην καθημερινότητα τους. (Rotko et al,2002, Jacquemin et al 2007, Forsberg, Stjerjberg,Wall,1997). Το γεγονός αυτό, μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα πως οι κάτοικοι των πόλεων, έχουν συνηθίσει σε ένα βαθμό την ατμοσφαιρική ρύπανση στην καθημερινότητα τους και αυτό εμφανίζεται και στο πως αντιλαμβάνονται την αυξημένη ρύπανση κατά την διάρκεια της άθλησης τους.

Έπειτα, αναζητήθηκε συσχέτιση μέσω του έλεγχου ανάλυσης διακύμανσης ANOVA, ανάμεσα στις απαντήσεις που έδωσαν οι αθλητές στο ερωτηματολόγιο και το εάν εμφανίζουν αλλεργίες ή όχι. Σε αυτόν τον έλεγχο, επιβεβαιώθηκαν οι προηγούμενες βιβλιογραφίες (Rotko et al, 2002, Forsberg, Stjerjberg, Wall, 1997, Kocot, Baranski, Melaniuk-Wolny, Zajusz-Zubek, Kowalska, 2021) που θεωρούν πως όσοι εμφανίζουν αλλεργίες είναι πιθανό να αντιλαμβάνονται την ρύπανση σε μεγαλύτερο βαθμό. Ο έλεγχος επιβεβαίωσε την παραπάνω θεωρία για τον πρώτο παράγοντα (σωματική δυσφορία) , όχι όμως και για τους άλλους δύο. Οι αλλεργίες γενικά επιβαρύνουν το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου, και σε συνδυασμό με την άσκηση, μπορούν να το αποδυναμώσουν ακόμα περισσότερο. Έτσι, η παρουσία αλλεργιών στους αθλητές σχετίζεται με αυξημένη όχληση και αυξημένη σωματική δυσφορία.

Αντίθετα με τον έλεγχο ANOVA για την διακύμανση των απαντήσεων σε σχέση με τις αλλεργίες, ο αντίστοιχος έλεγχος ANOVA για την διακύμανση των απαντήσεων σε σχέση με τα αναπνευστικά προβλήματα, δεν έδειξε ίδια αποτελέσματα με την βιβλιογραφία. Ενώ η βιβλιογραφία θεωρεί για τον γενικό πληθυσμό πως όσοι εμφανίζουν αναπνευστικά προβλήματα, θα αντιλαμβάνονται και σε μεγαλύτερο βαθμό την ρύπανση του αέρα, στο ερωτηματολόγιο των αθλητών, δεν προέκυψαν διαφορές ανάμεσα σε αυτούς που έχουν αναπνευστικά προβλήματα και αυτούς που δεν έχουν. (Rotko et al,2002, Jacquemin et al 2007, Forsberg, Stjerjberg,Wall,1997). Το γεγονός αυτό, επιβεβαιώνει την θεωρία των Olivo et al., (2022) που πρότειναν πως η αερόβια άσκηση μπορεί να αποτρέψει την ζημιά στους πνεύμονες βραχυπρόθεσμα, όχι όμως και μακροπρόθεσμα.

Τέλος, αναζητήθηκε συσχέτιση ανάμεσα στο κάπνισμα και τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο μέσω του ελέγχου ANOVA, και εκεί, όπως προέβλεπε και η βιβλιογραφία, δεν προκύπτει συσχέτιση των δύο.(Rotko et al, 2002)

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία είχε σαν σκοπό την ανάπτυξη μιας ψυχομετρικής κλίμακας που θα μετράει την αντιληπτή όχληση που προκαλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση, στους αθλητές αντοχής. Τα βασικά ερωτήματα της εργασίας ήταν: (α) Ποια τα ερωτήματα που πρέπει να εμπεριέχει ένα όργανο αποτίμησης της αντιληπτής όχλησης εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τους αθλητές, (β) ποια είναι η αξιοπιστία του συγκεκριμένου ψυχομετρικού οργάνου και (γ) ποια είναι η εγκυρότητα αυτού, ενώ στο τέλος αναζητήθηκε σχέση ανάμεσα στις απαντήσεις που έδωσαν οι συμμετέχοντες και τις ανεξάρτητες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο ερωτηματολόγιο. Όσο αναφορά την δομή της κλίμακας, τα αποτελέσματα από τον έλεγχο της σφαιρικότητας του Bartlett's οδήγησαν στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ότι οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, ενώ η τιμή του κριτηρίου KMO ήταν σε απόλυτα ικανοποιητικό επίπεδο. Σύμφωνα με την ανάλυση των κυρίων συνιστωσών επιλέχθηκαν τρεις (3) παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 37.111% της συνολικής ερμηνευμένης διακύμανσης.

Οι δείκτες αξιοπιστίας της κλίμακας ήταν σε ικανοποιητικό επίπεδο, ενώ παράλληλα, η τιμή  $\alpha$  του Cronbach, ως βασικός δείκτης της εσωτερικής συνέπειας ενός ερωτηματολογίου, κυμάνθηκε σε ικανοποιητικό επίπεδο (Hair et al. 1998, Nunnally, Bernstein, 1994) για κάθε έναν από τους τρεις παράγοντες. Επίσης, οι συσχετίσεις των ερωτημάτων με την κλίμακα, καθώς και οι συσχετίσεις των ερωτημάτων του κάθε παράγοντα μεταξύ τους κυμάνθηκαν επίσης σε απόλυτα ικανοποιητικό επίπεδο.

Μέσα από τους έλεγχους πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης MANOVA, ανάλυσης διακύμανσης ANOVA, και τον συντελεστή συσχέτισης Pearson ( $r$ ), παρατηρήθηκε πως οι ερασιτέχνες αθλητές αντοχής δεν παρουσιάζουν διαφυλικές διαφορές στην αντίληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, δεν παρουσιάζονται διαφορές στην αντιληπτή όχληση σε σχέση με τις ώρες άθλησης, το κυριότερο άθλημα, το κάπνισμα και την παρουσία ή όχι αναπνευστικών προβλημάτων.

Αντίθετα, παρατηρήθηκε διαφορά στην αντιληπτή ρύπανση ανάμεσα σε αθλητές αντοχής που κατοικούν εντός πόλης ή περιιαστικά αυτής και αυτούς που κατοικούν εκτός αστικού ιστού, σε χωριά, οικισμούς και αγροτικές περιοχές, με τους αθλούμενους που κατοικούν εντός πόλης να έχουν μικρότερα επίπεδα όχλησης σε σχέση με εκείνους που κατοικούν εκτός πόλης. Επίσης, παρατηρήθηκε διαφορά στα σκορ του ερωτηματολογίου ανάμεσα στους αθλητές που παρουσιάζουν αλλεργίες και αυτούς που δεν παρουσιάζουν. Τα παραπάνω αποτελέσματα έρχονται κατά βάση σε συμφωνία με παλαιότερες βιβλιογραφικές αναφορές, γεγονός που επιβεβαιώνει πως η κλίμακα είναι αρκετά ικανοποιητικά ορισμένη.

Η κλίμακα αυτή είναι καλά ορισμένη και σταθμισμένη για τα δεδομένα των ερασιτεχνών αθλητών αντοχής στην Ελλάδα. Αντίστοιχα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε άλλη χώρα ή με έμφαση σε άλλο άθλημα αντοχής που διεξάγεται σε εξωτερικό χώρο (π.χ. κωπηλασία), με πολύ καλή προσαρμογή, όμως για μελέτη αντίστοιχων επιπέδων όχλησης κατά την διάρκεια άλλων αθλημάτων, που δεν είναι αθλήματα αντοχής ή δεν διεξάγονται σε εξωτερικό χώρο, απαιτείται άλλη κλίμακα που να μην βασίζεται στα ίδια δεδομένα με αυτήν.

Τέλος, ως πρόταση για μελλοντική μελέτη θα ήταν η συσχέτιση της αντιληπτής ατμοσφαιρικής ρύπανσης που νιώθουν οι αθλητές, κάνοντας χρήση ακόμα και της παρούσας κλίμακας, με τις πραγματικές τιμές ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, από σταθμούς μέτρησης της ποιότητας αέρα. Έτσι, θα μπορέσει να μελετηθεί αν η όχληση που νιώθουν οι αθλητές και θεωρούν πως τους επηρεάζει την αθλητική απόδοση, είναι πραγματική ή πλασματική και άρα το φαινόμενο καθαρά ψυχολογικό.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Ahmad Z., Sanin M., Lian Q., Zappi M.,Gang D., 2017, < Nonpoint Source Pollution>, *Water environment research*, vol. 89, no.10.
- Amundsen A.H., R. Klaeboe, A. Fyhri,2008, <Annoyance from vehicular air pollution: Exposure–response relationships for Norway>, *Atmospheric Environment*, vol.42, p. 7679-7688.
- Balan M., Negoescu B., Nedelea S., Grigoriu M., Bran M., 2010, < Some models used to analyze the impact of greenhouse effect gases on climatic changes>, *Proceedings of the internatonal conference on risk management*, p. 407-413.
- Carlisle A.J., N C C Sharp, 2001, <Exercise and outdoor ambient air pollution>, *Br J Sports Med*, vol. 35, p. 214-222.
- Cruz R., Pasqua L., Silveira A., Damasceno M., Matsuda M., Martins M., Marquezini M., Lima-Silva A., Salvida P., Bertucci R., 2021, <<Traffic-related air pollution and endurance exercise: Characterizing non-targeted serum metabolomics profiling>>, *Environmental Pollution*, vol. 291
- Cunnington A., Hormbrey P., 2002, < Breath analysis to detect recent exposure to carbon monoxide>, *Postgraduate medicine journal*, vol. 78, issue 918.
- Egondi T., Kyobutungi C., N. Ng, K. Muindi, S. Oti, S. van de Vijver, R. Ettarh, J. Rocklöv, 2013, <Community Perceptions of Air Pollution and Related Health Risks in Nairobi Slums>, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol.10, p. 4851-4868.
- Fabrigar L. R., Wegener D. T., MacCallum R. C., & Strahan E. J. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4(3), 272-299.
- Forsberg B., N. Stjernberg, S. Wall,1997, <People can detect poor air quality well below guideline concentrations: a prevalence study of annoyance reactions and

air pollution from traffic>, *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 54, p. 44-48.

Gonzalez M., Gomes D., Rojas N., Acevedo H., Aristisabal H., 2017, < Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city>, *Atmospheric environment*, vol. 152, p.279-289.

Gopi C., Khilnani, Tiwari P., 2018, <<Air pollution in India and related adverse respiratory health effects - past, present, and future directions>>, *Current opinion on Pulmonary Medicine*, vol. 24, issue 2, p. 108-116

Grabow M., Spak S., Holloway T., Stone B., Mednick A., Patz J., 2012, << Air Quality and Exercise-Related Health Benefits from Reduced Car Travel in the Midwestern United States>>, *Environmental Health Perspectives*, vol. 120, No. 1

Guo J., Xu Y., Pu Z., 2016, < Urbanization and Its Effects on Industrial Pollutant Emissions: An Empirical Study of a Chinese Case with the Spatial Panel Model>, *Sustainability*, vol. 8, issue 8.

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1998). *Multivariate data analysis*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>  
(ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/EK)

Hu K., Davidson T., Rahman A., Sivaraman V., 2014, << Air Pollution Exposure Estimation and Finding Association with Human Activity using Wearable Sensor Network>>, *Machine Learning for Sensory data analysis*, p. 48-55

Hu L., Zhu L., Xu Y., Lyu Z., Imm K., Yang L., 2017, <<Relationship between air quality and outdoor exercise behavior in China: a novel mobile-based study>>, *International Journal of Behavioral Medicine*, vol. 24, p. 520-527



- Huang J., Pan X. , Guo X., Li G., 2018, <<Impacts of air pollution wave on years of life lost: A crucial way to communicate the health risks of air pollution to the public>>, *Environment International*, vol. 113, p. 42-49
- Jacquemin B., J. Sunyer, B. Forsberg, T. Gotschi, L. Bayer-Oglesby, U. Ackermann-Liebrich, R. de Marco, J. Heinrich, D. Jarvis, K. Toren, N. Kunzli, 2007, <Annoyance due to air pollution in Europe>, *International Journal of Epidemiology*, vol. 36, p. 809-820.
- Kam W., Liacos W., Schauer J., Delfino R., Sioutas C., 2012, < On-road emission factors of PM pollutants for light-duty vehicles (LDVs) based on urban street driving conditions>, *Atmospheric environment*, vol. 62, p. 378-386.
- Kim M., Yi O., H. Kim, 2012, <The role of differences in individual and community attributes in perceived air quality>, *Science of the Total Environment*, vol. 425, p. 20-26.
- Klaeboe R., A.H. Amundsen, A. Fyhri, 2008, <Annoyance from vehicular air pollution: A comparison of European exposure–response relationships>, *Atmospheric Environment*, vol.42, p. 7689-7694.
- Klaeboe R., M. Kolbenstvedt, J. Clench-Aas, A. Bartonova, 2000, <Oslo traffic study part 1: an integrated approach to assess the combined effects of noise and air pollution on annoyance>, *Atmospheric Environment*, vol.34, p.4727-4736.
- Kline, P. (1994). *An easy guide to factor analysis*. New York: Routledge.
- Kocot K., Baranski K., Melaniuk-Wolny E., Zajusz-Zubek E., Kowalska M., 2021, <<Exercise under Exposure to Air Pollution and Spirometry in Healthy Adults with and without Allergy>>, *Atmosphere*, vol. 12, issue 9
- Li C., Zhou Y., Ding L., 2021, << Effects of long-term household air pollution exposure from solid fuel use on depression: Evidence from national longitudinal surveys from 2011 to 2018>>, *Environmental Pollution*, vol. 283

- Liao Z., Fan S., 2015, < Human health impact of exposure to ozone pollutant in Pearl River Delta region during 2006~2012>, *China environmental science*, vol. 35, issue 3, p. 897-905.
- Lin C., Chiu C., Lee P., Chen K., He C., Hsu S., Cheng K., 2022, <<The adverse effect of air pollution on the eye: a review>>, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, issue 3
- Ling Y., Xia S., Cao M., He K., Lim M., Sukumar A., Yi H., Qian X., 2021, < Carbon emissions in China's thermal electricity and heating industry: An input-output structural decomposition analysis>, *Journal of cleaner production*, vol. 329.
- Liu B., Yong S., Tan H., 2011, < One dimensional radiative heat transfer analysis of atmosphere greenhouse effects>, *Journal of engineering thermophysics*, vol. 32, issue 6, p. 1012-1014.
- Liu X., Zhu H., Hu Y., Feng S., Chu Y., Wu Y., Wang C., Zhang Y., Yuan Z., Lu Y., 2016, <<Public's Health Risk Awareness on Urban Air Pollution in Chinese Megacities: The Cases of Shanghai, Wuhan and Nanchang>>, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13
- Mayer H., 1999, <<Air pollution in cities>>, *Environmental Pollution*, vol. 33, issue 24-25, p.4029-4037
- Mehr S., Afshin H., 2013, < Numerical Simulation of NO<sub>x</sub> Pollutant Formation in a Natural Gas Fired Power Generation Boiler, by Using Burner's Parameters>, ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition.
- Nourian A., Abba M., Nasr G., 2021, < Measurements and analysis of non-methane VOC (NMVOC) emissions from major domestic aerosol sprays at "source">, *Environment International*, vol. 146.
- Nunnally J. C., Bernstein I. C. H. (1994). *Psychometric theory*. (3rd ed). New York: McGraw-Hill.

- Nwona H.A. ,2013, «Climate Change: Causes, Effects and the Need for Science Education for Sustainable Development», *Mediterranean Journal of Social Sciences*, Vol 4 No 8, p.35-41
- Olivo C., Castro T., Riane A., Regonha T., Rivero D., Vieira R., Saraiva-Romagnolo B., Lopes F., Tiberio I., Martins M., Prado C., 2022, <<The effects of exercise training on the lungs and cardiovascular function of animals exposed to diesel exhaust particles and gases>>, *Environmental Research*, vol. 203
- Ranaarif S., Yuwono A., 2021, < Analysis of the distribution of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) pollutant in Bali Island for the 2011-2020 period>, *IOP Conference series: Earth and environmental science*.
- Reche C., M. Viana, B. L. van Drooge, F. J. Fernández, M. Escribano, G. Castaño-Vinyals, M. Nieuwenhuijsen, P. Emilio Adami, S. Bermon, 2020, <Athletes' exposure to air pollution during World Athletics Relays: A pilot study>, *Science of the Total Environment*, vol.717, p. 137-161.
- Remoundaki E., Kassomenos P., Mantas E., Mihalopoulos N., Tsezos M., 2013, << Composition and Mass Closure of PM<sub>2.5</sub> in Urban Environment (Athens, Greece) >>, *Aerosol Air Quality Research*, vol. 13, issue 1, pages 72-82.
- Rotko T., L. Oglesby, N. Kunzli, P. Carrer, M. J. Nieuwenhuijsen, M.Jantunen, 2002, <Determinants of perceived air pollution annoyance and association between annoyance scores and air pollution (PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>) concentrations in the European EXPOLIS study>, *Atmospheric Environment*, vol. 36, p. 4593-4602.
- Rundell K., Anderson S., Sue-Chu M., Bougault V., Boulet L., 2015, << Air quality and temperature effects on exercise-induced bronchoconstriction>>, *Comprehensive Physiology*, vol. 5, issue 2
- Sabrina Llop, Ferran Ballester, Marisa Estarlich, Ana Esplugues, Rosalia Fernandez-Patier, Rosa Ramon, Alfredo Marco, Amelia Aguirre, Jordi Sunyer, Carmen Iniguez, 2008, <Ambient air pollution and annoyance responses from pregnant women>, *Atmospheric Environment*, vol. 42, p. 2982-2992.

- Sandisirisomboon J., Limmeechokchai B., Chungpaibulpatana S., 2001, < Impacts of biomass power generation and CO<sub>2</sub> taxation on electricity generation expansion planning and environmental emissions>, Energy policy, vol. 29, issue 12, p.975-985.
- Shen P., Yang L., Guo Z., Liu Z., 2013, < Research of Agricultural Non-Point Source Pollution and Prevention Measures>, Advanced materials research, vol. 790, p.445-448.
- Shepherd D., Dirks K., Welch D., McBride D., Landon J., 2016, < The Covariance between Air Pollution Annoyance and Noise Annoyance, and Its Relationship with Health-Related Quality of Life>, Environmental research and public health, vol. 13, issue 8.
- Sikakwe G., Tyopine A., Eyong G., 2022, < Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metal Pollutants in Soil Around Semi Urban Petrol Stations and Automobile Mechanic Workshops>, Makara journal of science, vol. 26, issue 1.
- Sklyarov E., Sklyarova O., Lavrenchuk A., Menhagin Y., 2015, <Natural pollutants of Northern lake Baikal>, Environmental earth sciences, vol. 74, p.2143-2155.
- Soni M., Jain R., Mehta A., 2012, < Mechanism(s) involved in carbon monoxide-releasing molecule-2-mediated cardioprotection during ischaemia-reperfusion injury in isolated rat heart >, Indian journal of pharmaceutical science, vol. 74, issue 4, p.281-291.
- Stenlund T., E. Liden, K. Andersson, J. Garvill, S. Nordin, 2009, <Annoyance and health symptoms and their influencing factors: A population-based air pollution intervention study>, Public Health, vol.123, p. 339-345.
- Stone K., Solomon S., Kinnison D., Mills M., 2021, < On Recent Large Antarctic Ozone Holes and Ozone Recovery Metrics>, Geophysical research letters, vol. 48, issue 22.

- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2006). *Using multivariate statistics*. New York: Harper Collins.
- Tinsley, H. E. A., & Tinsley, D. J. (1987). Uses of factor analysis in counseling psychology research. *Journal of Consulting Psychology*, 27, 561-570.
- US EPA , [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- Veronesi B., Oortgiesen M., 2001, < Neurogenic Inflammation and Particulate Matter (PM) Air Pollutants>, *NeuroToxicology*, vol.22, issue 6, p. 795-810.
- Vinshuradhan R., Lonappan A., Eldho T., 2022, < A microwave-based technique as a feasible method to detect plastic pollutants in experimental samples>, *Journal of hazardous materials*, vol. 428.
- Wang C., Lin J., Niu Y., Wang W., Wen J., Lv L., Liu C., Du X., Zhang Q., Chen B., Cai J., Zhao Z., Liang D., Ji J., Chen H., Chen R., Kan H., 2022, << Impact of ozone exposure on heart rate variability and stress hormones: A randomized-crossover study>>, *Journal of Hazardous Materials*, vol.421
- Wang J., Liu J., Wang B., Cheng W., Zhang J., 2021, < A new method for multi-point pollution source identification>, *Atmospheric and oceanic science letters*, vol. 14, issue 6.
- Wang Z., Li G., Huang J., Wang Z., Pan X., 2019, <<Impact of air pollution waves on the burden of stroke in a megacity in China>>, *Atmospheric Environment*, vol. 202, p. 142-148
- Wu X., Chen S. , Guo J., Gao G., 2018, <<Effect of air pollution on the stock yield of heavy pollution enterprises in China's key control cities>>, *Journal of Cleaner Production*, vol.170, p.399-406
- Xu Y., Cui G., 2021, < Influence of spectral characteristics of the Earth's surface radiation on the greenhouse effect: Principles and mechanisms> , *Atmospheric environment*, vol. 244.

- Xue Y., Cao X., Ai Y., Xu K., Zhang Y., 2020, < Primary Air Pollutants Emissions Variation Characteristics and Future Control Strategies for Transportation Sector in Beijing, China>, Sustainability, vol. 12, issue 10.
- You Y., Lee J., 2022, < Activity-based evaluation of ship pollutant emissions considering ship maneuver according to transportation plan>, International journal of naval architecture and ocean engineering, vol. 14.
- Yu J., Hong S., Long H., 2020, < Zonation on non-point source pollution risk in the lower reaches of Zijiang River based on the "source-sink" theory>, The journal of applied ecology, vol. 31, issue 10, p.3518-3528.
- Zhang H., Wang S., Hao J., Wang X., Wang S., Chai F., Li M., 2016, << Air pollution and control action in Beijing>>, Journal of cleaner production, vol.112, part 2, p.1519-1527
- Zouzelka R., Rathousky J., 2017, < Photocatalytic abatement of NOx pollutants in the air using commercial functional coating with porous morphology>, Applied catalysis B: Environmental, vol. 217,p. 466-476.
- Γκιόσος Ι., 2009, Διπλωματική Εργασία ΕΑΠ, «Εγκυρότητα και αξιοπιστία κλιμάκων διαδραστικής απόστασης στο περιβάλλον του Ελληνικού ανοιχτού πανεπιστημίου».
- Γκιούρας Σ., 2018, « Ποιότητα του αέρα και πηγές αέριας ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή Κοζάνης-Πτολεμαΐδας-Φλώρινας. », Διπλωματική Εργασία MSc, Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο.
- Δούμπα Φ., 2019, « Ανταλλαγή αέριων ρύπων μεταξύ του ατμοσφαιρικού και υδάτινου περιβάλλοντος. Διδακτική προσέγγιση της αλληλεπίδρασης των συστημάτων. », Διπλωματική Εργασία MSc, Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο.
- Κατσούλης Β.Δ., Κασσωμένος Π.Α., 2013, «Μαθήματα Φυσικής του Περιβάλλοντος», Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο Ιωαννίνων.
- Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας (Κ.Ε.Ε.) : Όξινη βροχή

Κούγιας Ν., 2019, « Μελέτη των συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή της Αττικής κατά την διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την Αφρική », Διπλωματική Εργασία MSc, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Σερέτη Δ., 2019, «Υγρή ρύπανση, διεργασίες απορρύπανσης υδάτινων οικοσυστημάτων και υφιστάμενη κατάσταση στη Γαλλία. », Διπλωματική Εργασία MSc, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:** Περιγραφική στατιστική απαντήσεων του ερωτηματολογίου

	Ερώτηση 1		Ερώτηση 2		Ερώτηση 3		Ερώτηση 4		Ερώτηση 5	
Αριθμητικός μέσος	3,99		4,54		3,83		3,64		3,04	
Διάμεσος	4		5		4		4		3	
Επικρατούσα τιμή	5		5		5		3		3	
Τυπική απόκλιση	1,176		0,791		1,283		1,127		1,378	
Διακύμανση	1,384		0,626		1,647		1,270		1,899	
	f	f%	f	f%	F	f%	f	f%	f	f%
Δεν συμφωνώ καθόλου (1)	11	3,8	18	6,1	3	1	13	4,5	53	18,1
(2)	30	10,2	37	12,6	4	1,4	31	10,6	56	19,1
(3)	47	16	49	16,7	25	8,5	86	29,5	67	22,9
(4)	67	22,9	59	20,1	60	20,5	81	27,7	59	20,1
Συμφωνώ πάρα πολύ (5)	138	47,2	130	44,4	201	68,6	81	27,7	58	19,8

Πίνακας 1: Μέτρα κεντρικής τάσης, απόλυτες και σχετικές συχνότητες των απαντήσεων 1-5 του ερωτηματολογίου.

	Ερώτηση 6		Ερώτηση 7		Ερώτηση 8		Ερώτηση 9		Ερώτηση 10	
Αριθμητικός μέσος	4,06		3,03		2,69		2,48		3,20	
Διάμεσος	4		3		3		2		3	
Επικρατούσα τιμή	5		3		3		1		3	
Τυπική απόκλιση	1,030		1,119		1,203		1,333		1,315	
Διακύμανση	1,062		1,252		1,448		1,778		1,730	
	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%
Δεν συμφωνώ καθόλου (1)	9	3,1	24	8,2	57	19,5	93	31,8	36	12,3
(2)	14	4,8	69	23,6	74	25,3	69	23,6	56	19,1
(3)	49	16,8	111	38	90	30,8	57	19,5	79	27
(4)	96	32,9	50	17,1	45	15,4	44	15,1	57	19,5
Συμφωνώ πάρα πολύ (5)	124	42,5	38	13	26	8,9	29	9,9	65	22,2

Πίνακας 2: Μέτρα κεντρικής τάσης, απόλυτες και σχετικές συχνότητες των απαντήσεων 6-10 του ερωτηματολογίου.



	Ερώτηση 11		Ερώτηση 12		Ερώτηση 13		Ερώτηση 14		Ερώτηση 15	
Αριθμητικός μέσος	3,02		2,47		4,04		3,31		3,31	
Διάμεσος	3		2		4		3		3	
Επικρατούσα τιμή	3		1		5		5		3	
Τυπική απόκλιση	1,211		1,384		1,180		1,395		1,294	
Διακύμανση	1,467		1,915		1,392		1,946		1,675	
	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%
Δεν συμφωνώ καθόλου (1)	39	13.4	96	33.1	14	4.8	45	15.4	33	11.3
(2)	57	19.5	71	24.5	22	7.5	41	14	45	15.5
(3)	98	33.6	57	19.7	46	15.8	62	21.2	79	27.1
(4)	58	19.9	25	8.6	64	21.9	67	22.9	65	22.3
Συμφωνώ πάρα πολύ (5)	40	13.7	41	14.1	146	50	78	26.6	69	23.7

Πίνακας 3: Μέτρα κεντρικής τάσης, απόλυτες και σχετικές συχνότητες των απαντήσεων 11-15 του ερωτηματολογίου.

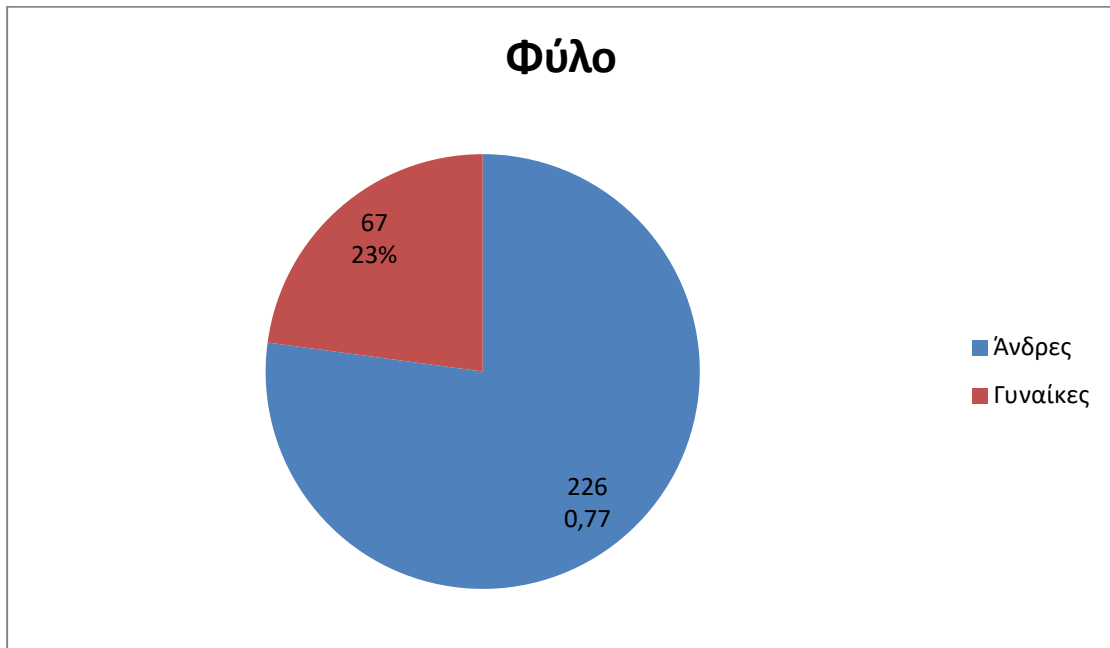
	Ερώτηση 16		Ερώτηση 17		Ερώτηση 18		Ερώτηση 19		Ερώτηση 20	
Αριθμητικός μέσος	2,18		3,17		3,20		2,42		3,48	
Διάμεσος	2		3		3		2		4	
Επικρατούσα τιμή	1		3		3		3		4	
Τυπική απόκλιση	1,246		1,336		1,178		1,184		1,320	
Διακύμανση	1,553		1,784		1,387		1,402		1,744	
	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%
Δεν συμφωνώ καθόλου (1)	119	40.9	44	15	31	10.7	86	29.4	36	12.2
(2)	69	23.7	48	16.4	41	14.1	66	22.5	34	11.6
(3)	55	18.9	75	25.6	101	34.7	91	31.1	52	17.7
(4)	29	10	66	22.5	73	25.1	33	11.3	95	32.3
Συμφωνώ πάρα πολύ (5)	19	6.5	60	20.5	45	15.5	17	5.8	77	26.2

Πίνακας 4: Μέτρα κεντρικής τάσης, απόλυτες και σχετικές συχνότητες των απαντήσεων 16-20 του ερωτηματολογίου.

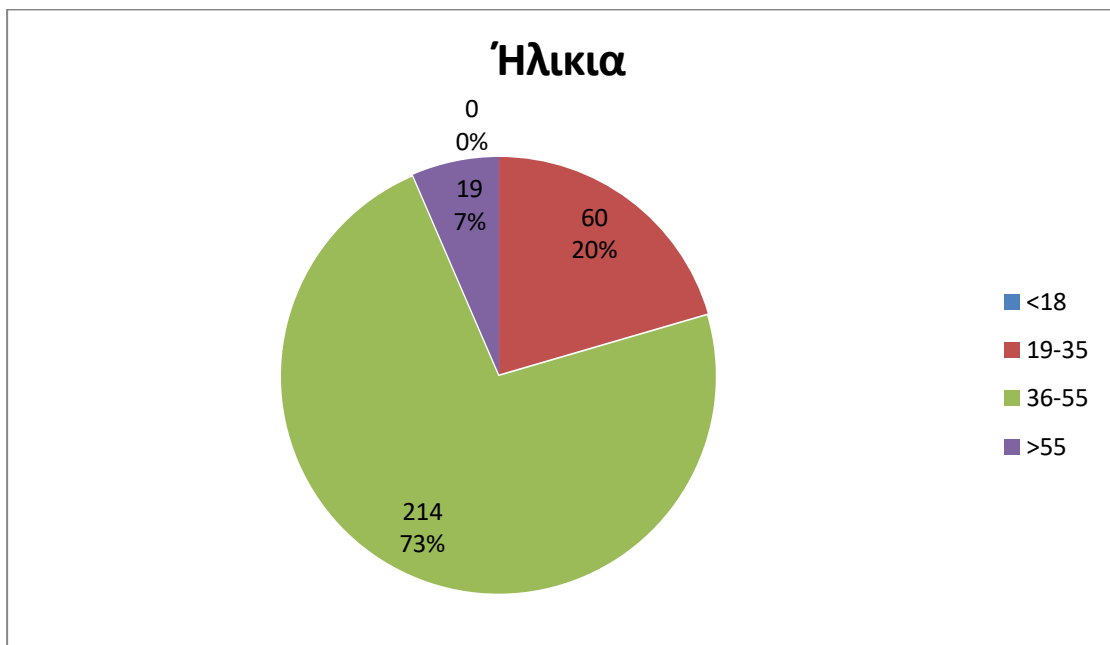
	Ερώτηση 21		Ερώτηση 22		Ερώτηση 23		Ερώτηση 24		Ερώτηση 25	
Αριθμητικός μέσος	2,61		2,66		3,16		2,98		3,42	
Διάμεσος	2		3		3		3		4	
Επικρατούσα τιμή	2		3		5		3		4	
Τυπική απόκλιση	1,303		1,225		1,470		1,303		1,204	
Διακύμανση	1,698		1,500		2,160		1,698		1,450	
	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%	f	f%
Δεν συμφωνώ καθόλου (1)	73	24.9	64	21.8	57	19.5	46	15.6	22	7.5
(2)	79	27	70	23.9	45	15.4	69	23.5	46	15.6
(3)	66	22.5	84	28.7	65	22.3	73	24.8	75	25.5
(4)	42	14.3	50	17.1	45	15.4	59	20.1	86	29.3
Συμφωνώ πάρα πολύ (5)	33	11.3	25	8.5	80	27.4	47	16	65	22.1

Πίνακας 5: Μέτρα κεντρικής τάσης, απόλυτες και σχετικές συχνότητες των απαντήσεων 21-25 του ερωτηματολογίου.

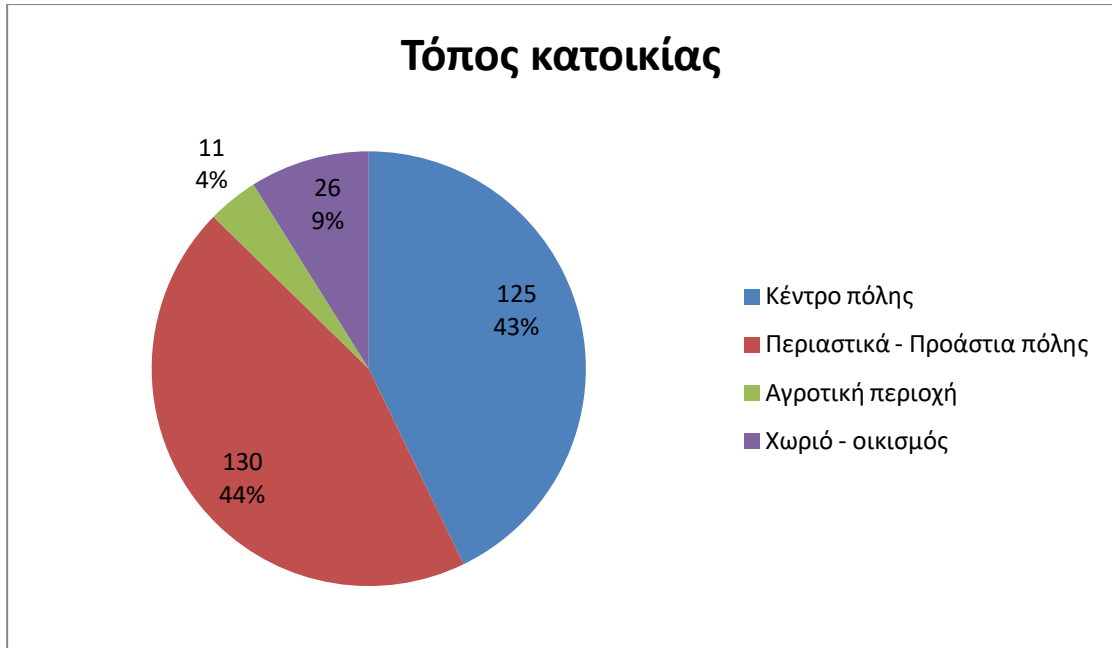
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:** Περιγραφική στατιστική των ανεξάρτητων μεταβλητών του ερωτηματολογίου.



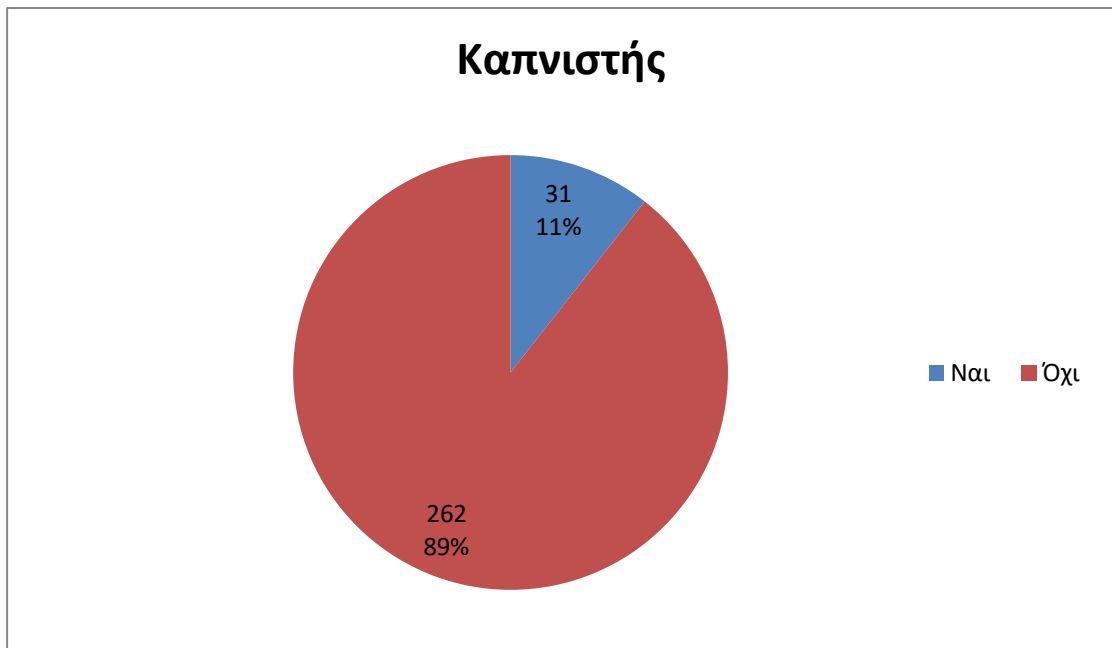
Σχήμα 1: Περιγραφική στατιστική για το φύλο των συμμετεχόντων.



Σχήμα 2: Περιγραφική στατιστική για την ηλικία των συμμετεχόντων.



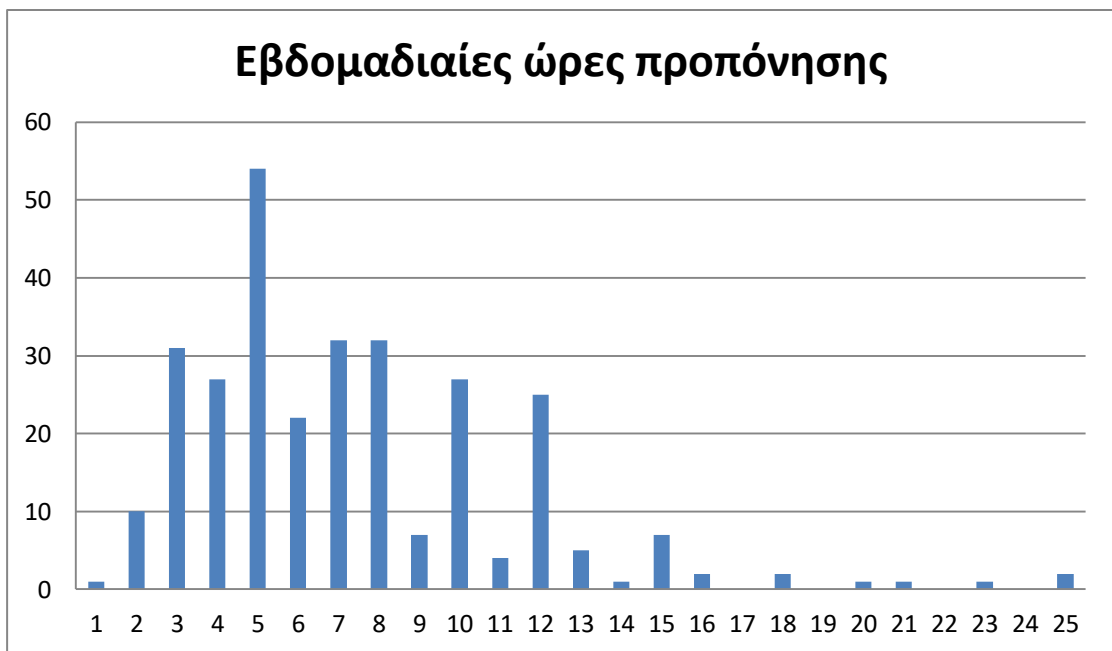
Σχήμα 3: Περιγραφική στατιστική για τον τόπο κατοικίας των συμμετεχόντων.



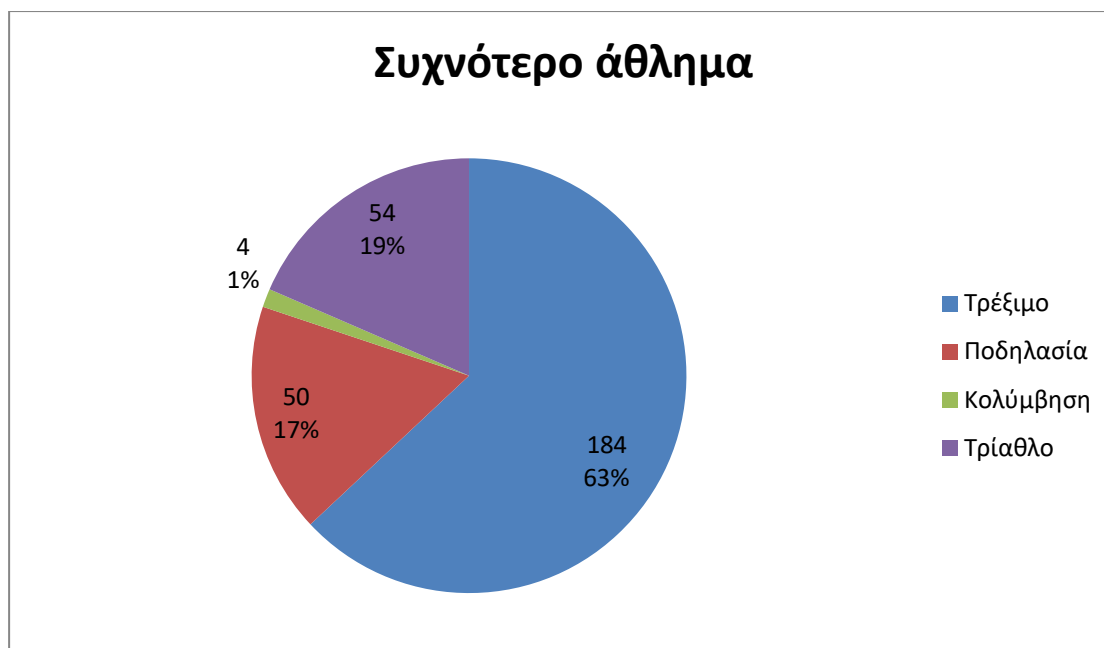
Σχήμα 4: Περιγραφική στατιστική για το ποσοστό καπνίζόντων στους συμμετέχοντες.



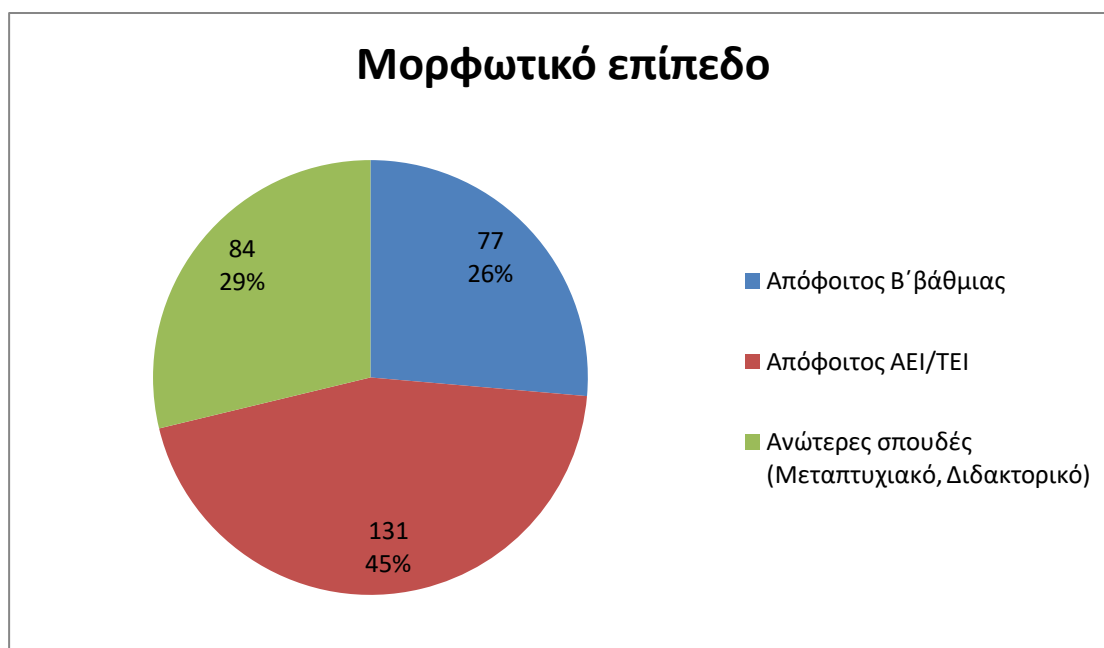
Σχήμα 5: Περιγραφική στατιστική για την παρουσία ή όχι αλλεργιών και αναπνευστικών προβλημάτων στους συμμετέχοντες.



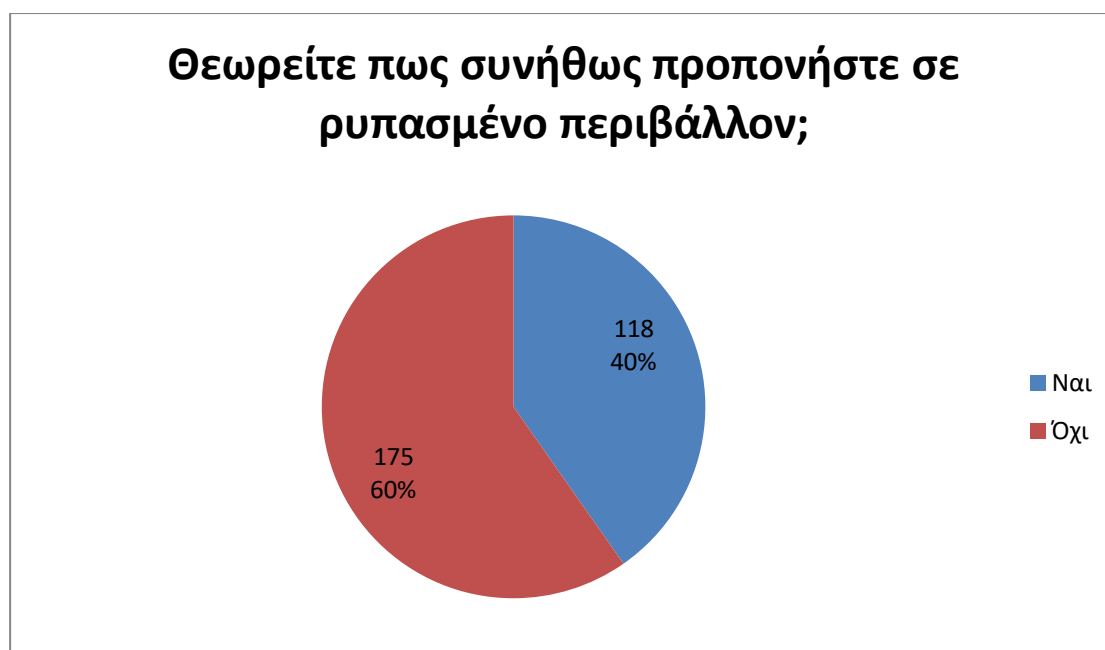
Σχήμα 6: Διακύμανση εβδομαδιαίων ωρών προπόνησης των συμμετεχόντων.



Σχήμα 7: Περιγραφική στατιστική για το συχνότερο άθλημα των συμμετεχόντων.



Σχήμα 8: Περιγραφική στατιστική για το μορφωτικό επίπεδο των συμμετεχόντων.



Σχήμα 9: Απαντήσεις στην ερώτηση: Θεωρώ πως συνήθως προπονούμαι σε ρυπασμένο περιβάλλον.