

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Χωροχρονική Χαρτογράφηση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης
στην Περιοχή του Λονδίνου με Χρήση Λογισμικού GIS**

Αλεξάνδρα Γεωργαντή Νταλιαπέ

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Ιούνιος 2017

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και
Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Χωροχρονική Χαρτογράφηση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης
στην Περιοχή του Λονδίνου με Χρήση Λογισμικού GIS**

Αλεξάνδρα Γεωργαντή Νταλιαπέ

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Ιούνιος 2017

Περίληψη

Το Λονδίνο είναι μια εξαιρετικά ευαίσθητη περιοχή στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισαν να γίνονται γνωστά κατά τις δεκαετίες του '50 και του '60 με τα διάσημα νέφη που κάλυψαν την πόλη και προκάλεσαν πολλούς θανάτους. Η νομοθεσία για τον έλεγχο των ρύπων είχε ήδη τεθεί σε ισχύ από το 1306.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή επιχειρήθηκε η απεικόνιση και η παρατήρηση της εξέλιξης των ρύπων μέσα στο πέρασ των χρόνων, η συσχέτιση των εκπομπών των ρύπων με τις χρήσεις γης της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς και ο εντοπισμός των διαφοροποιήσεων μεταξύ θερινής και χειμερινής περιόδου.

Για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διατριβής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό του ArcGIS σε δύο περιβάλλοντα. Το ένα περιβάλλον ήταν εκείνο του ArcMap, στο οποίο πραγματοποιήθηκε χωρική ανάλυση και το άλλο ήταν το ArcGIS Pro, στο οποίο έλαβε χώρα η χωροχρονική ανάλυση. Τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το εργαλείο του Natural Neighbor στα πλαίσια της χωρικής παρεμβολής και το εργαλείο του Space Time Cube στα πλαίσια της τρισδιάστατης απεικόνισης του χωροχρόνου.

Και οι δύο αναλύσεις έδειξαν το μεγάλο βαθμό συσχέτισης του αστικού ιστού με τις εκπομπές αέριων ρύπων. Παρόλο που η χωροχρονική ανάλυση έδειξε κάποια σημάδια βελτίωσης σε συγκεκριμένους ρύπους πιθανότατα λόγω της μείωσης της χρήσης άνθρακα στην βιομηχανία και την οικιακή θέρμανση η αυξομειώσεις των τελευταίων ετών οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι δεν έχει βρεθεί ακόμα μόνιμη λύση στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Λονδίνου. Από τα αποτελέσματα επίσης φαίνεται ότι το Λονδίνο πάσχει από ατμοσφαιρική ρύπανση που σχετίζεται άμεσα με την κυκλοφορία και ότι οι ρύποι πολλές φορές υπερβαίνουν τα νομικά όρια.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη της μείωσης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων και την ενίσχυση νέων μέτρων αντιμετώπισης του φαινομένου στην περιοχή του Λονδίνου.

Summary

London is an extremely sensitive area to the air pollution. The problems London faces due to atmospheric pollution began to be known in the 1950s and 1960s with the famous smog that covered the city and caused many deaths. Pollution control legislation had already been in force since 1306.

This master thesis, attempts to visualize and observe the evolution of pollutants over the years, the correlation of emissions of pollutants by the land use of the area of interest, as well as the identification between summer and winter season.

For the completion of the master thesis, ArcGis software was used in two environments. One was that of the ArcMap interface, in which spatial analysis was performed and the other was the ArcGIS Pro, in which space - time analysis took place. The basic tools used were Natural Neighbor's spatial interpolation tool and Space Time Cube tool within the three - dimensional visualization of space - time.

Both analyzes showed the high degree of correlation of the urban fabric with the emissions of pollutants. Although space - time analysis has shown some signs of improvement in specific pollutants, probably because of the reduction in coal use in industry and domestic heating, fluctuations in recent years have led to the conclusion that a permanent solution to the London air pollution problem has not yet been found. From the results it seems that London also suffers from air pollution that is directly related to the traffic and that pollutants many times exceed the legal limits.

This master thesis can be used for achieving a reduction in emissions of air pollutants and strengthen new measures to tackle the phenomenon in the London area.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου αρχικά στην επιβλέπουσα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, Δρ. Σίσσυ Ευθυμιάδου για την πρακτική και ηθική της βοήθεια και την συνεχή καθοδήγηση που μου παρείχε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη και ειδική στα συστήματα GIS, Ιώ Δογάνη, για τις πολύτιμες συμβουλές και την ενεργή της παρουσία. Ευχαριστώ επίσης τους γονείς μου, που με στηρίζουν σε όλες μου τις ακαδημαϊκές προσπάθειες τόσο υλικά όσο και ψυχικά και τον σύντροφό μου, για την υπομονή του και τη διαρκή εμπύχωση. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κοντό και την Marathon Data Systems, για την ευγενική δωρεάν παραχώρηση του λογισμικού, χωρίς το οποίο δε θα μπορούσα να πραγματοποιήσω τη μεταπτυχιακή μου διατριβή.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iii
Summary	iv
Ευχαριστίες	v
Κεφάλαιο 1.....	1
Εισαγωγή.....	1
1.1 Καταγραφή Προβλήματος	1
1.2 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης	3
1.3 Σκοποί και Στόχοι Μελέτης.....	3
Κεφάλαιο 2.....	5
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	5
2.1 Διατύπωση Κεντρικών Εννοιών	5
2.2 Επεισόδιο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	6
2.3 Κλιματική Αλλαγή.....	7
2.4 Ανασκόπηση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	12
2.4 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης	15
2.5 Ανάλυση Ρύπων	17
2.5.1 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	17
2.5.2 Οξείδια του Αζώτου (NO _x).....	18
2.5.3 Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	18
2.5.4 Όζον (O ₃).....	19
2.5.5 Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2.5, PM10)	20
2.6 Επιδράσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στην Ανθρώπινη Υγεία	21
2.7 Νομοθετικό Πλαίσιο	22
2.8 Περιοχή Μελέτης – Λονδίνο.....	25
2.9 Σχέδιο Δράσης Λονδίνου.....	26
2.10 Χρήσεις Γης – CORINE.....	29
2.11 Το Λογισμικό	32
2.11.1 Vector.....	35
2.11.2 Raster	36
2.12 Η ιστορία του GIS.....	37
Κεφάλαιο 3.....	40
Μεθοδολογία.....	40
3.1 Σκοπός και Στόχοι	40
3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα.....	41

3.3 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων.....	42
3.3 Διαδικασία	44
3.3.1 ArcMap.....	44
3.3.2 ArcGis Pro.....	56
Κεφάλαιο 4.....	63
Αποτελέσματα.....	63
4.1 Έννοιες και θέματα που αναδύθηκαν μέσα από ποιοτική ή ποσοτική ανάλυση	63
4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά ερευνητική μέθοδο, στάδιο έρευνας, παράμετρο που χρησιμοποιήθηκε.	64
Κεφάλαιο 5.....	97
Συζήτηση –Συμπεράσματα-Εισηγήσεις	97
5.1 Συζήτηση	97
5.2 Περιορισμοί της Μελέτης.....	98
5.3 Συμπεράσματα	98
5.5 Εισηγήσεις.....	100
Βιβλιογραφία	101

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Καταγραφή Προβλήματος

Περίπου 9.500 άνθρωποι πεθαίνουν πρόωρα κάθε χρόνο στο Λονδίνο λόγω της μακροχρόνιας έκθεσής τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αναφέρεται σε ουσίες στον ατμοσφαιρικό αέρα που βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία, την ευημερία, την ζωική ή φυτική ζωή. Το μεγαλύτερο μέρος ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Λονδίνο προκαλείται από τις οδικές μεταφορές και τα οικιακά ή εμπορικά συστήματα θέρμανσης. Οι συνθήκες στην πόλη είναι πλέον τόσο βλαβερές που ο Λονδρέζος δήμαρχος Sadiq Khan έχει προτείνει να δοθούν στα παιδιά μάσκες αερίων ώστε να προστατεύσουν τους πνεύμονές τους. Οι κανονισμοί και τα πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα του Ηνωμένου Βασιλείου βασίζονται στις οριακές τιμές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και περιλαμβάνουν οριακές τιμές ώστε να μην βλάπτεται η υγεία και το περιβάλλον. Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή περιλαμβάνει τους εξής ρύπους:

- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)
- Μονοξείδιο του αζώτου (NO)
- Αιωρούμενα Σωματίδια (PM₁₀ και PM_{2,5})
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Όζον (O₃)

Αν και η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στο Λονδίνο τα τελευταία χρόνια βελτιώνεται ως αποτέλεσμα πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών, κυρίως από τις οδικές μεταφορές, τα δεδομένα από τους σταθμούς μέτρησης των ρύπων εξακολουθούν

να παρουσιάζουν σημαντικές περιοχές υπερβάσεων των μηνιαίων ή ετήσιων μέσων οριακών τιμών.

1.2 Σημασία και Αναγκαιότητα της Μελέτης

Η κακή ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στο Λονδίνο είναι ένα μακροπρόθεσμο πρόβλημα που δεν ήταν ποτέ εύκολο να λυθεί. Το ευρύ φάσμα πηγών εκπομπών σημαίνει ότι η κυβερνητική δράση για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πρέπει να στοχεύει σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο. Η παρακολούθηση και η καταγραφή της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα χρησιμεύει για τη βελτίωση της κατανόησης της επιστήμης της ρύπανσης και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των ρύπων στην υγεία μας. Η καταγραφή και η απεικόνιση των μετρήσεων είναι ουσιαστικά ζωτικής σημασίας ώστε να καθοριστεί εάν πληρούνται οι νομικά δεσμευτικές οριακές τιμές και να κατανοηθεί η καθημερινή έκθεση των κατοίκων των περιοχών που αφορά η συγκεκριμένη μελέτη. Με την χωροχρονική χαρτογράφηση και ανάλυση των δεδομένων, επιτυγχάνεται η εκτίμηση του βαθμού χειροτέρευσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την μια εποχιακή περίοδο στην άλλη ή ανά έτος, ποιες περιοχές είναι σε δυσμενέστερη θέση από άλλες και εν γένει αν οι συγκεντρώσεις αυξάνονται ή μειώνονται, ορίζοντας ανάλογα με την περίπτωση το βάθος χρόνου. Επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί το πώς αλληλεπιδρούν οι ρύποι μεταξύ τους και πως σχετίζονται με την πυκνότητα της κυκλοφορίας, τη βιομηχανική δραστηριότητα και τις χρήσεις γης σε ευρύτερο πλαίσιο. Τέτοιου είδους αναλύσεις μπορούν να εμπλουτιστούν με δεδομένα καιρικών συνθηκών και να υπάρξει διαδικασία πρόβλεψης των επεισοδίων ρύπανσης. Η πρόβλεψη μπορεί να οδηγήσει σε πρόληψη και οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν στους πολίτες της περιοχής μελέτης να βελτιώσουν τις συνθήκες ζωής τους και να μην ανησυχούν για τα προβλήματα υγείας και τις αρνητικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

1.3 Σκοποί και Στόχοι Μελέτης

Η εκτίμηση των πεδίων ρύπανσης, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, αποτελεί σημαντική εφαρμογή στο τομέα της περιβαλλοντικής επιστήμης λόγω των σημαντικών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να συνεισφέρει στον επιστημονικό τομέα που ασχολείται με μοντέλα υπολογισμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σύμφωνα με την έκθεση της Παγκόσμιας

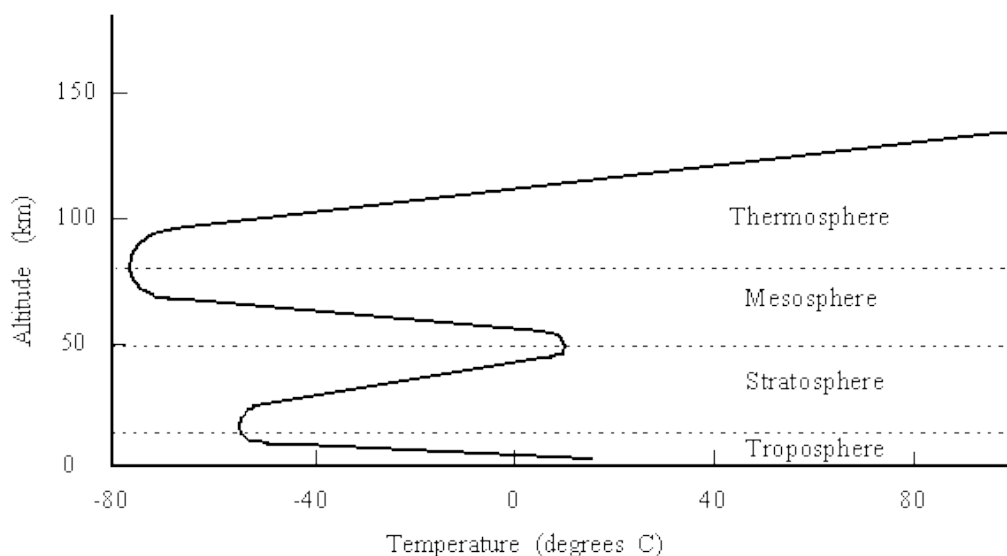
Οργάνωσης Υγείας, η ατμοσφαιρική ρύπανση παγκοσμίως, σκοτώνει σήμερα περίπου επτά εκατομμύρια ανθρώπους ετησίως (WHO, 2016). Αυτό αντιπροσωπεύει έναν στους οκτώ θανάτους και είναι μακράν ο μεγαλύτερος περιβαλλοντικός κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία. Σκοπός επομένως αποτελεί, η βαθιά κατανόηση της συγκέντρωσης της ρύπανσης που οδηγεί τόσο στην αποφυγή των συνθηκών δημιουργίας της αλλά και στην τόνωση των προσπαθειών και των μέτρων καταπολέμησης της. Η χωροχρονική ανάλυση πραγματοποιείται προκειμένου να αντισταθμιστούν τα ανησυχητικά στατιστικά και να αναληφθεί δράση για τον καθαρισμό του λονδρέζικου ατμοσφαιρικού αέρα (και του αέρα σε ολόκληρο τον πλανήτη). Μέσω της συγκεκριμένης μελέτης στοχεύεται να είναι πιο ευκρινής η περιοχή που πάσχει πιο έντονα από συγκεντρωμένη ατμοσφαιρική ρύπανση, πως εμφανίζεται, ποια στοιχεία εμπλέκονται και ποιοι είναι οι παράγοντες που συσχετίζονται και μπορούν να εξουδετερωθούν. Η προβολή και η απεικόνιση ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO_x), του όζοντος (O₃), διοξειδίου του θείου (SO₂) και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ & PM_{2,5}), καταφέρνουν όχι μόνο να γίνει γνωστό ποιες περιοχές πλήττονται από έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και να βοηθήσει στην αποφυγή των υπερβολικά ενεργών μολυσμένων περιοχών στις καθημερινές συνήθειες των πολιτών. Έτσι μέσω της χαρτογράφησης απεικονίζεται η ιστορία του Λονδίνου κατά την τελευταία περίπου δεκαετία, συγκεντρώνοντας πληροφορία από μολυσμένες περιοχές στις οποίες υπάρχουν σχολεία, παιδικοί σταθμοί κλπ., επομένως ο χάρτης μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο πληροφόρησης και βοήθειας.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Διατύπωση Κεντρικών Εννοιών

Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αεριώδες περίβλημα που περιβάλλει ένα ουράνιο σώμα όπως είναι η γη. Αυτό το περίβλημα συγκρατείται μέσω της βαρύτητας και φτάνει σε ύψος 3.500km. Βάσει της χημικής σύστασης που παρουσιάζει το κάθε στρώμα της ατμόσφαιρας επιτυγχάνεται η διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Τα στρώματα αυτά, διαχωρίζονται με βάση την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικά μήκη κύματος. Η ατμόσφαιρα κατά αυτόν τον τρόπο και με βάση το ύψος διαστρωματώνεται στην τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα και θερμοσφαιρα (ξεκινώντας από τα χαμηλότερα ύψη).



Εικόνα 2.1. Κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας καθ' ύψος.

Πηγή: (Iribarne & Godson, 1981)

Ο όρος «ατμοσφαιρικός ρύπος» συνδέεται με κάθε παράγοντα ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή συνδυασμό τέτοιων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων οποιωνδήποτε φυσικών, χημικών, βιολογικών, ραδιενεργών ουσιών ή ουσιών που εκπέμπονται ή

εισέρχονται με άλλο τρόπο στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει και πρόδρομους παράγοντες για τον σχηματισμό οποιουδήποτε ρύπου στον αέρα (CAA, 2005). Οι ρυπογόνες χημικές ουσίες μπορεί να έχουν πολλές ανεπιθύμητες ενέργειες, αλλά στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων θα καταλήξουν σε βιολογικές διεργασίες. Ένας αριθμός από τους ρύπους έχουν άμεση σύνδεση με το φυσικό περιβάλλον όπως για παράδειγμα, το διοξείδιο του άνθρακα που συνδέεται με τη θερμική ισορροπία στη γη.

2.2 Επεισόδιο Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Τα βραχυπρόθεσμα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να παραμείνουν χαμηλά για εβδομάδες, ενώ τα υψηλότερα επίπεδα τείνουν να εμφανίζονται σε επεισόδια που μπορεί να διαρκέσουν αρκετές ημέρες. Αυτά τα επεισόδια σπανίως είναι αποτέλεσμα αλλαγών σε τοπικές πηγές ρύπανσης γιατί συνήθως οι συνθήκες ρύπανσης του αστικού τοπίου είναι σταθερές. Τα επεισόδια αυτά σχετίζονται άμεσα με τις μετεωρολογικές συνθήκες και συμβαίνουν συνήθως, όταν οι τελευταίες, προκαλούν συγκέντρωση ρύπων που υπερβαίνει τα κανονικά επίπεδα. Προκαλούνται επίσης και ανάλογα με τη διαδρομή που έχει ταξιδέψει ο αέρας τις προηγούμενες ημέρες. Για παράδειγμα αν ο αέρας διέρχεται από την Ευρώπη, μπορεί να συλλέξει ρύπους από διάφορα σημεία στη διαδρομή του. Τα περισσότερα επεισόδια μπορούν να προσδιοριστούν είτε ως καλοκαιρινή είτε ως χειμωνιάτικη αιθάλη. Αυτές οι δύο περιπτώσεις έχουν μεταξύ τους διαφορετικές συμπεριφορές. Ο σχηματισμός του χειμωνιάτικου νέφους παρατηρείται τυπικά σε καιρικές συνθήκες κρύου, ομίχλης, και άπνοιας. Με αυτόν τον τόπο παγιδεύεται η ρύπανση που παράγεται από οχήματα με κινητήρα, θέρμανση χώρων και λοιπές πηγές που βρίσκονται κοντά στο έδαφος με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η συσσώρευση των ρύπων με την πάροδο του χρόνου (DAERA, 2012). Τα χειμερινά επεισόδια χαρακτηρίζονται από αυξημένα επίπεδα διοξειδίου του αζώτου, αιωρούμενων σωματιδίων και πτητικών ενώσεων. Ο σχηματισμός του καλοκαιρινού νέφους ευνοείται από καιρικές συνθήκες ζέστης, υψηλής ηλιοφάνειας και άπνοιας. Η ηλιοφάνεια σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις στα μείγματα ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται από την οδική κυκλοφορία, την καύση καυσίμων και τις χρήσεις διαλύτη. Οι ρύποι που σχετίζονται με τέτοιου είδους επεισόδια συνήθως έχουν

την ικανότητα να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις. Κατά τη διάρκεια αυτής της μεγάλης κλίμακας μετακίνησης αέρα, αντιδρούν μεταξύ τους και παράγουν υψηλά επίπεδα όζοντος, μαζί με άλλους ρύπους όπως το διοξείδιο του αζώτου και τα αιωρούμενα σωματίδια (DAERA, 2012).

2.3 Κλιματική Αλλαγή

Βάσει της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel for Climate Change – IPCC) οι μεταβολές του κλίματος προέρχονται από διαταραχές του ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας-λιθόσφαιρας οι οποίες απορρέουν είτε από φυσικά αίτια (ηλιακή δραστηριότητα, αλλαγές τροχιάς της γης, ηφαιστειογενή δράση), είτε από ανθρωπογενή αίτια (αλλαγή στη σύσταση της ατμόσφαιρας, αλλαγή στις χρήσεις γης), αλλά και από την εσωτερική κλιματική μεταβλητότητα (οι αλλαγές του κλίματος χωρίς την παρουσία των παραπάνω αιτιών) (Κατσαφάδος, 2010). Η ετήσια μέση θερμοκρασία επιφάνειας του πλανήτη κρίνεται από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την ανακλαστικότητα της επιφάνειας του πλανήτη. Η θερμοκρασία της επιφάνειας ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε η πλανητική εκπομπή θερμότητας στο διάστημα να εξισορροπεί την ηλιακή ενέργεια. Κατά μέσο όρο ετησίως και παγκοσμίως, περίπου 342 Wm^{-2} ηλιακής ενέργειας χτυπά τη γη και το 30% αντανακλάται πίσω το διάστημα, αφήνοντας περίπου 235 Wm^{-2} να απορροφηθούν. Από τα 107 Wm^{-2} που ανακλάται στο διάστημα, τα σύννεφα αντιπροσωπεύουν περίπου τα δύο τρίτα της απώλειας και η επιφάνεια περίπου το ένα όγδοο, με την ατμοσφαιρική σκέδαση Rayleigh να αντανακλά τα υπόλοιπα. Η μέση θερμοκρασία επιφάνειας της γης είναι περίπου 288 K ή 15°C (Seinfeld & Pandis, 2006). Μελέτες έχουν αποδείξει ότι τα αέρια του θερμοκηπίου και οι χρόνιες εκθέσεις σε ατμοσφαιρική ρύπανση οδηγούν σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις και σε επιπτώσεις στην υγεία όλων των έμβιων οργανισμών. Οι συνεχώς αυξανόμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και των αερίων του θερμοκηπίου παγιδεύουν τη θερμότητα στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας και μέσω αυτής της διεργασίας ξεκινάει η υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες έχουν οδηγήσει σε αύξηση της παγκόσμιας ακτινοβολίας (θέρμανση) 2.45 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο (W m^{-2}). Αυτό είναι περίπου μόνο το 1% της καθαρής εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αλλά αντιστοιχεί στο ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 1,8 δισεκατομμυρίων τόνων πετρελαίου, περισσότερο από 100 φορές το σημερινό ποσοστό εμπορικής

κατανάλωσης ενέργειας στον κόσμο. Η διάρκεια ζωής του κάθε αερίου στην ατμόσφαιρα επηρεάζει την προκύπτουσα συγκέντρωση και τη δυνατότητα θέρμανσης. Για παράδειγμα το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του αζώτου και οι χλωροφθοράνθρακες έχουν μέσο χρόνο ζωής 100 χρόνια ή περισσότερο, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα μόνο 5 μήνες (Hardy, 2003). Καθώς θερμαίνεται η ατμόσφαιρα, η συγκέντρωση υδρατμών (αερίου του θερμοκηπίου) στην ατμόσφαιρα αυξάνει την παραγωγή με θετική ανάδραση. Ορισμένες μελέτες μοντέλων υποδεικνύουν ότι το φαινόμενο ανατροφοδότησης των υδρατμών θα μπορούσε να προσθέσει $1,8 \text{ W m}^{-2}$ ραδιοσυχνότητας κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα (Soden & Held, 2006). Λόγω των αυξανόμενων πιέσεων που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τις φυσικές διεργασίες, πολλά από τα σημερινά είδη κινδυνεύουν ήδη να εξαφανιστούν από τη θάλασσα και τη γη. Οι παράκτιες ζώνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην κλιματική αλλαγή, καθώς υπόκεινται σε πολλές διαφορετικές και συχνά ενισχυτικές φυσικές και βιολογικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το κλίμα. Αυτές περιλαμβάνουν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, υψηλότερους κινδύνους έκθεσης σε έκτακτα γεγονότα (όπως οι έντονες καταιγίδες και οι πλημμύρες), η μόλυνση των γλυκών υδάτινων πόρων και οι κλιματικές αλλαγές στα θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα. Οι άνθρωποι είναι επίσης ευάλωτοι στις μεταβολές των παράκτιων ζωνών, καθώς το ένα τέταρτο του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε απόσταση 100 χιλιομέτρων και υψόμετρο 100 μέτρων από την ακτογραμμή, με αναμενόμενη σημαντική αύξηση του αριθμού των κατοίκων των παράκτιων περιοχών μέσα στον επόμενο μισό αιώνα (Small & Nicholls, 2003). Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη διαβίωση.

Η βιοποικιλότητα είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μεταβλητότητα που υπάρχει μεταξύ οργανισμών, ειδών και οικοσυστημάτων. Τα οικοσυστήματα επηρεάζονται από μια σειρά παραγόντων και συχνά είναι δύσκολο να απομονωθούν οι μεταβολές που οφείλονται σε άλλες μεταβλητές, όπως η καταστροφή ενδιαιτημάτων μέσω της αποψίλωσης ή οι επιπτώσεις των ρύπων. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ορισμένες αλλαγές που μπορούν να αποδοθούν άμεσα στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Για παράδειγμα οι μεταβολές του κλίματος στις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του αέρα και του νερού, μπορούν να συνδεθούν με παρατηρούμενες αλλαγές στη χρονική στιγμή της ανθοφορίας της άνοιξης, της εμφάνισης εντόμων, των επεισοδίων ωστοκίας και των εποχών μετανάστευσης. Εμφανής είναι η επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε ένα είδος ή οικοσύστημα όταν προκαλούνται

μεταβολές σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή (κλιματική θέση). Παραδείγματος χάριν, το είδος *rigmy possum* στην Αυστραλία, το οποίο εξαρτάται άμεσα από την χειμερινή κάλυψη του χιονιού, έχει αρχίσει να εξαφανίζεται από τις Αυστραλιανές Άλπεις (Steffen , et al., 2006). Πολλά εθνικά πάρκα, ορισμένα από τα οποία δημιουργήθηκαν αρχικά για την προστασία μοναδικών και απειλούμενων με εξαφάνιση οικοσυστημάτων, θα μπορούσαν να επηρεαστούν εντονότατα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Οι πολικές περιοχές καλύπτουν την Αρκτική και την Ανταρκτική, καθώς και τις περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους που συνορεύουν με τους βόρειους και νότιους πολικούς κύκλους (γεωγραφικό πλάτος, άνω των 60° βόρεια και κάτω των 60° νότια). Η Αρκτική και η Ανταρκτική μαζί αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% της επιφάνειας της γης και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες περιοχές στην αλλαγή του κλίματος. Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας αναμένεται να είναι μεγαλύτερες στις πολικές περιοχές από ότι σε άλλες περιοχές του πλανήτη, ιδιαίτερα στην βόρεια πολική περιοχή η οποία έχει ήδη θερμανθεί περισσότερο από διπλάσια του παγκόσμιου μέσου ρυθμού τα τελευταία 100 χρόνια (IPCC, 2008). Αν και οι πολικές περιοχές είναι ιδιαίτερα αραιοκατοικημένες και η βλάστηση είναι περιορισμένη, υποστηρίζουν σημαντικά ενδιαυτήματα για τα εξαρτώμενα από τη θάλασσα ζώα όπως πτηνά και θηλαστικά (φάλαινες, πολικές αρκούδες κλπ.). Κάποιοι επιστήμονες θεωρούν ότι σε λίγα χρόνια η Αρκτική μπορεί να εισέλθει σε μια άλλη φάση ψύξης. Παρά το ότι αυτό μπορεί όντως να συμβεί, είναι απίθανο να αντιστραφεί η υποκείμενη τάση υπερθέρμανσης που προέρχεται από την συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Folkestad, et al., 2006).

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να αυξήσει το επίπεδο της θάλασσας. Ο ένας τρόπος αύξησης προέρχεται από την διεργασία της θερμικής διαστολής των ωκεανών. Καθώς το νερό θερμαίνεται, επεκτείνεται και καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο, ενώ όταν ψύχεται, συρρικνώνεται και καταλαμβάνει μικρότερο όγκο. Βάσει αυτής της αρχής, ισχύει το ίδιο και για τους ωκεανούς αλλά σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα. Δεν είναι γνωστό πόση ωκεάνια θερμική ανάπτυξη θα εμφανιστεί τις επόμενες δεκαετίες καθώς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τις συνθήκες των κυκλοφοριακών συστημάτων των ωκεανών, τις μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση, το μέγεθος της κλιματικής αλλαγής κλπ. (Nicholls & Lowe, 2006). Ο δεύτερος τρόπος συμβολής στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, είναι μέσω της προσθήκης περισσότερων υδάτων από το λιώσιμο των πάγων. Μακροπρόθεσμα (πέραν

του 2050) οι δεσπόζουσες θέσεις της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής, θα είναι οι κυρίαρχες δυνάμεις που θα καθορίζουν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αν οι πάγοι από αυτές τις δύο θέσεις λιώσουν τελείως, τότε η στάθμη της θάλασσας υπολογίζεται πως θα φτάσει 65 μέτρα παραπάνω από τα σημερινά επίπεδα (IPCC, 2008).

Όλες οι πτυχές της επισιτιστικής ασφάλειας επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής τροφίμων, της πρόσβασης, της χρήσης αλλά και της σταθερότητας των τιμών. Για παράδειγμα, όσον αφορά το σιτάρι, το ρύζι και τον αραβόσιτο, σε τροπικές και εύκρατες περιοχές, η κλιματική αλλαγή χωρίς προσαρμογή αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή σε τοπικές θερμοκρασιακές αυξήσεις κατά 2°C (ή περισσότερο) πάνω από τα επίπεδα του 20^{ου} αιώνα. Οι προβλεπόμενες επιπτώσεις ποικίλλουν μεταξύ των καλλιεργειών, των περιφερειών και των σεναρίων προσαρμογής, ενώ περίπου το 10% των προβλέψεων για την περίοδο 2030-2049 παρουσιάζουν κέρδη απόδοσης άνω του 10%, περίπου 10% των προβλέψεων δείχνουν απώλειες απόδοσης άνω του 25%, σε σύγκριση με τα τέλη του 20^{ου} αιώνα (IPCC, 2015). Ο υποσιτισμός αναμένεται να αποφέρει το μεγαλύτερο κοινωνικοοικονομικό κόστος για την υγεία των ανθρώπων και θα επηρεάσει σοβαρότερα τις χώρες χαμηλού εισοδήματος, ιδιαίτερα εκείνες στην υποσαχάρια Αφρική και τη Νότια Ασία (IPCC, 2008). Με αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 2°C, επιπλέον 30-200 εκατομμύρια άνθρωποι θα μπορούσαν να βρεθούν σε αυξημένο κίνδυνο συνθηκών πείνας. Σε θερμοκρασίες 3-4°C ο αριθμός αυξάνεται στα 500 εκατομμύρια (Parry, et al., 2004).

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει την καταβύθιση, τη θερμοκρασία και τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή και επομένως καταλήγει να επηρεάσει και την σοβαρότητα εμφάνισης των μετεωρολογικών ξηρασιών. Ένα σημαντικό ζήτημα για την αξιολόγηση των μελλοντικών επιπτώσεων (κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών) είναι πώς οι μεταβολές της μετεωρολογικής ξηρασίας θα επηρεάσουν την ξηρασία των υδάτων του εδάφους και την υδρολογική ξηρασία, δηλαδή τις ξηρασίες υπόγειων υδάτων και ροών. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν δημοσιευθεί πολυάριθμες μελέτες σχετικά με την κλιματική αλλαγή και πως σχετίζεται με την ξηρασία. Για να εκτιμηθεί η πιθανή αλλαγή του κλίματος και ο αντίκτυπος της στην ξηρασία ακολουθούνται διάφορες προσεγγίσεις. Συνήθως εφαρμόζονται φυσικά μοντέλα προσανατολισμένα στη διαδικασία προσομοίωσης χρονικών σειρών υδρομετεωρολογικών δεδομένων. Το 2050,

η IPCC αναμένει ότι η ετήσια ροή των ποταμών θα έχει αυξηθεί κατά 10-40% σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και θα μειωθεί κατά 10-30% σε ορισμένες ξηρές περιοχές στα μεσαία και χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, στα οποία υπάρχουν ήδη υδατικά πιεσμένες περιοχές (IPCC, 2015). Το νερό που φυλάσσεται στους παγετώνες και η κάλυψη του χιονιού συνεχίζουν να μειώνονται, αρχικά αυξάνοντας αλλά τελικά μειώνοντας τη ροή των ποταμών, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σε περιοχές κάτω από τους ποταμούς, οι οποίες τροφοδοτούνται με νερό τήξης από μεγάλες οροσειρές. Κυρίως στη Νότια Ευρώπη, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει τις συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία) σε περιοχές που ήδη αντιμετωπίζουν λειψυδρία και καύσωνες σε μεγάλο βαθμό. Την Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη, οι καλοκαιρινές βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν, προκαλώντας μεγαλύτερη υδάτινη καταπόνηση (van Lanen, et al., 2007).

Οι αλλαγές σε μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία όπως αντιπροσωπεύεται από το Ελ Νίνιο-Νότια Ταλάντωση (ENSO) και την Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (NAO), θα επηρεάσει περαιτέρω την εμφάνιση ακραίων φαινομένων (Karas, 2006). Το Ελ Νίνιο, μεταβάλλει τα θερμά και το Λα Νίνια τα ψυχρά γεγονότα στον τροπικό Ειρηνικό και είναι κυρίαρχες διακυμάνσεις των κλιματικών μεταβολών στη γη. Πρόκειται για φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ ωκεανού και ατμόσφαιρας, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μια κυκλική διακύμανση της ατμόσφαιρας, της ωκεάνιας θερμοκρασίας και των μοντέλων κυκλοφορίας στον Ειρηνικών Ωκεανό. Τα γεγονότα του ENSO, αλλάζουν τα πρότυπα βροχόπτωσης, συνήθως φέρνοντας ξηρασία στην Αυστραλία, την Ινδονησία και τις γειτονικές χώρες αλλά και την καταιγίδες με πλημμύρες στα νησιωτικά κράτη του κεντρικού Ειρηνικού και της δυτικής ακτής της νότιας Αμερικής. Αυτές οι αλλαγές στα πρότυπα των βροχοπτώσεων οδηγούν επίσης σε μεταβολές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των καιρικών συνθηκών σε όλες τις θαλάσσιες λεκάνες και σε όλες τις ηπείρους. Ισχυρά φαινόμενα σχετιζόμενα με το ENSO είναι περιστασιακές πλημμύρες στις βορειοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, αυξημένη συχνότητα τροπικών κυκλώνων που καταστρέφουν την ξηρά στην Ιαπωνία και την Κορεάτικη Χερσόνησο, καταστροφές από μουσώνες στην Ινδία και την ανατολική Αφρική. Ένα από τα επακόλουθα είναι η αύξηση του κινδύνου τεράστιων δασικών πυρκαγιών στις περιοχές που πλήττονται από ολοένα αυξανόμενη ξηρασία. Τα γεγονότα του Λα Νίνια έχουν περίπου τα αντίθετα αποτελέσματα, αν και λιγότερο έντονα. Ο σημαντικότερος αντίκτυπος των ισχυρών γεγονότων του Λα Νίνια, είναι ο τριπλασιασμός της πιθανότητας των μεγάλων τυφώνων του Ατλαντικού, να χτυπήσουν

τις Ηνωμένες Πολιτείες. Φέρνει επίσης, πάνω από το μέσο όρο των βροχοπτώσεων στην Αυστραλία και την Ινδονησία (Dawson & Spannagle, 2009). Το ENSO, ασκεί σημαντική επίδραση στο κλίμα και τις καιρικές συνθήκες και επομένως έχει και έντονη επίδραση στις παγκόσμιες περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και στην οικονομική παραγωγή (γεωργία και αλιεία). Κατά τη διάρκεια των εκδηλώσεων του ENSO, η πρωτογενής παραγωγή στον τροπικό Ειρηνικό μειώνεται σημαντικά ως απόκριση στην εξασθένιση των θρεπτικών συστατικών στα ύδατα. Μειώνει επίσης την πρόσληψη του διοξειδίου του άνθρακα (McPhaden, et al., 2006).

2.4 Ανασκόπηση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση στα αστικά περιβάλλοντα προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων, των φυτών. Με αυτόν τον τρόπο η ατμοσφαιρική ρύπανση καταλήγει να αποτελεί μείζον πρόβλημα που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο πως συνεισφέρει στην αλλαγή του κλίματος (Jacobson, 2001). Η παρουσία κάποιας μορφής όχλησης σε έμβια όντα ή ακόμα και σε πράγματα μέσω της ποιότητας του αέρα μπορεί να οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση στο περιβάλλον. Μια ευρεία ποικιλία ανθρωπογενών πηγών ρύπανσης της ατμόσφαιρας αυξάνει τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Κύριες πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας είναι η κυκλοφορία των οχημάτων, η βιομηχανική δραστηριότητα και γενικά η καύση ορυκτών καυσίμων, η εισαγωγή μίγματος χημικών συστατικών καθώς και η ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων και βιολογικών υλικών στην ατμόσφαιρα. Η επιδείνωση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος θεωρείται παγκοσμίως ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά ζητήματα και τα τρέχοντα επιστημονικά στοιχεία συσχετίζουν την έκθεση στη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα με ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων στην υγεία όπως οι καρδιοπνευμονικές ασθένειες, οι εισαγωγές σε νοσοκομεία προς περίθαλψη και η πρόωγη θνησιμότητα (Analitis, et al., 2006).

Ένα γενικό χαρακτηριστικό των καταγραφών της ποιότητας του αέρα, για οποιονδήποτε από τους κοινούς ρύπους σε αστικές περιοχές, είναι η μεταβλητότητα των συγκεντρώσεων. Οι συγκεντρώσεις παρουσιάζονται ιδιαίτερος μεταβλητές στον χρόνο: από ώρα σε ώρα, μέρα σε μέρα, εποχή σε εποχή και από χρόνο σε χρόνο. Αν και η

ανθρώπινη δραστηριότητα είναι η κυρίως υπεύθυνη για την παραγωγή ρύπανσης, ο καιρός είναι αυτός που υπαγορεύει τι θα συμβεί όταν οι ρυπαντές απελευθερωθούν στον αέρα. Κατά την διάρκεια υγρών και θυελλωδών συνθηκών, έχει παρατηρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις παραμένουν χαμηλές, είτε επειδή απομακρύνονται είτε επειδή αφαιρούνται από τον αέρα μέσω βροχής (Brebba & Longhurst, 2008).

Ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να θεωρηθούν όλα τα είδη των υλικών που μέσω μιας φυσικής διαδικασίας ή εσκεμμένα εισέρχονται στην ατμόσφαιρα (Γεντεκάκης, 2003). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι ανάλογα με τις πηγές και τους σχηματισμούς τους διαχωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι ρύποι που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα ονομάζονται πρωτογενής, ενώ όσοι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα μετά από χημικούς μετασχηματισμούς πρωτογενών ρύπων ή ως προϊόντα διαφόρων αντιδράσεων, ονομάζονται δευτερογενείς. Στην ατμόσφαιρα οι ρύποι, βρίσκονται είτε σε αέρια μορφή (αέριοι ρύποι) είτε σε στερεή (σωματιδιακοί ρύποι) (Φυτιάνος & Σαμαρά - Κωνσταντίνου, 2009).

Μεταξύ των ανεπιθύμητων συνθηκών που μπορούν να δημιουργηθούν από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το νέφος καπνομίχλης και το φωτοχημικό νέφος. Και οι δύο περιπτώσεις σχετίζονται άμεσα με τις κλιματικές συνθήκες. Η περίπτωση του νέφους καπνομίχλης συνδέεται αφενός με τις υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων (όπως μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια) και αφετέρου με χαμηλές θερμοκρασίες και μεγάλη σχετική υγρασία. Η περίπτωση του φωτοχημικού νέφους παρουσιάζεται σε υψηλές θερμοκρασίες με μεγάλη ένταση και διάρκεια ηλιοφάνειας σε συνδυασμό με μικρή σχετική υγρασία και υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων και δευτερογενών προϊόντων.

Εξετάζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση στην ευρύτερη περιοχή του Λονδίνου κρίθηκε σκόπιμο να επιλεχθούν οι παρακάτω ρύποι. Η επιλογή πραγματοποιήθηκε κυρίως μέσω της πρόσβασης σε στοιχεία μετρήσεων αλλά και με βασικό κριτήριο ότι το Λονδίνο πάσχει από ρύπανση που σχετίζεται με το πυκνό οδικό δίκτυο και τα ψηλά κτίρια. Μέσω αυτών των συνθηκών το Λονδίνο τείνει να είναι ένα από τα πιο μολυσμένα μέρη στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Οι ρύποι που θα απασχολήσουν κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αιωρούμενα σωματίδια (PM 10, PM 2.5)
- Οξείδια του αζώτου (NO, NO₂)

- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Όζον (O₃)

Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων των αερολυμάτων έχει σημαντικό αντίκτυπο στις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών τους ιδιοτήτων και της ικανότητας τους να δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νέφους στην ατμόσφαιρα. Η κατανόηση των παραγόντων που καθορίζουν το μέγεθος των σωματιδίων στηρίζει όλη την επιστήμη που αναπτύσσεται γύρω από τα αερολύματα και είναι απαραίτητη για την κατασκευή ενός ακριβούς ατμοσφαιρικού μοντέλου, τόσο του σημερινού όσο και του μελλοντικού κλίματος (Knox, 2011).

Μια σύντομη περιγραφή των διεργασιών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ξεκινάει με την μεταφορά του αερολύματος από μια πηγή σε έναν αποδέκτη μέσω του ανέμου. Στη μεταφορά αυτή ο ρύπος θα αναμειχθεί στο χώρο με τον περιβάλλοντα αέρα και θα καταλήξει σε ατμοσφαιρική διάχυση. Η ανάμειξη προκαλείται από διάφορους στροβίλους και λοιπές ταραχές. Μέσω της ατμοσφαιρικής διάχυσης, η αρχική πυκνότητα του ρύπου αλλάζει και μειώνεται οπότε και επέρχεται διασπορά του ρύπου. Ο μετασχηματισμός του ρύπου σημαίνει και την παραγωγή ή καταστροφή ενός δεδομένου στοιχείου μέσω φυσικών και χημικών διεργασιών. Η απόθεση των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος αποτελεί μια φυσική διαδικασία που απομακρύνει τους ρύπους από την ατμόσφαιρα καθώς εκτός από τις διεργασίες που οδηγούν σε εκπομπή ή δευτερογενή σχηματισμό ρύπων πραγματοποιούνται παράλληλα και διεργασίες απομάκρυνσης. Ο κάθε ρύπος έχει συγκεκριμένο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα. Ένας από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν αυτόν τον χρόνο παραμονής, είναι και η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων που προκύπτουν μεταξύ των ατμοσφαιρικών ρύπων και άλλων συστατικών της ατμόσφαιρας. Η ταχύτητα απομάκρυνσης για έναν αέριο ρύπο A που απομακρύνεται από μια τέτοιου είδους χημική αντίδραση δίνεται από τη σχέση:

$$R = -d[A]/dt = K[A]$$

Όπου K, η σταθερά της ταχύτητας της αντίδρασης.

Σε περίπτωση που η συγκέντρωση [A] παραμένει σταθερή λόγω της συνεχούς παραγωγής του συστατικού, τότε το ατμοσφαιρικό σύστημα βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση και η ροή από το σύστημα δίνεται από τη σχέση:

$$F_0 = [A]/\tau$$

όπου [A], η συγκέντρωση του συστατικού στο σύστημα και τ , ο χρόνος παραμονής του συστατικού στο σύστημα (Ξενάκη & Χανιώτη, 2004).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εναπόθεση, είναι το είδος του ρύπου, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, η ευστάθεια της ατμόσφαιρας, η ατμοσφαιρική τύρβη, οι συνθήκες εκπομπών των ρύπων και τέλος τα χαρακτηριστικά των πηγών εκπομπής. Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται από την εκπομπή έως την εναπόθεση των ρύπων στο έδαφος εξαρτώνται κυρίως από την κίνηση των αερίων μαζών, το φυσικό και χημικό μετασχηματισμό των ρύπων και τους μηχανισμούς διάχυσης και εναπόθεσης των ρύπων.

Η παρουσία των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα έχει θετικές και αρνητικές επιδράσεις τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τους υπόλοιπους έμβιους οργανισμούς της γης. Αναλυτικότερα:

- Η παρουσία τους είναι απαραίτητη για τη συμπύκνωση των υδρατμών (πυρήνες συμπύκνωσης) και ως εκ τούτου τη δημιουργία νεφών.
- Συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και μπορούν να καταλήξουν επικίνδυνοι για την ζωή στον πλανήτη.
- Επηρεάζουν την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης μέσω της σκέδασης και της απορρόφησης.
- Σε μεγάλες συγκεντρώσεις μειώνουν σημαντικά την ορατότητα (Λαζαρίδης , 2005).

2.4 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης

Οι κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι:

α) Η ξηρή απόθεση, κατά την οποία η μεταφορά των αέριων ή σωματιδιακών ρύπων πραγματοποιείται απ' ευθείας από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να υπάρξει κατακρήμνιση. Η ξηρή απόθεση είναι αποτέλεσμα μηχανισμών

προσρόφησης ή απορρόφησης και πραγματοποιείται σε ταχύτερους ρυθμούς όταν αφορά αέριους ρύπους που είναι ευδιάλυτοι με παράδειγμα το διοξείδιο του θείου (SO₂). Η περίπτωση αυτής της διεργασίας, περιέχει νιτρικά, αμμωνιακά, θειικά και λοιπά συστατικά που μπορούν να συνεισφέρουν σε φαινόμενα ευτροφισμού και όξυνσης των οικοσυστημάτων, όπως επίσης ραδιενεργά στοιχεία, κατιόντα όπως Na⁺, K⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺ αλλά και τοξικά βαρέα μέταλλα όπως Pb, Cd, και Zn (Petroff, et al., 2008). Παρακάτω παραθέτονται σε πίνακα οι ταχύτητες απόθεσης κάποιων αέριων ρύπων σε διάφορες επιφάνειες.

Πίνακας 2.1. Ταχύτητα απόθεσης ρύπων ανά επιφάνεια

Αέριο	Ταχύτητα Απόθεσης (cm/sec)	Επιφάνεια απόθεσης
SO ₂	0.14-2.2	Έδαφος και βλάστηση
SO ₂	0.7-1	Ωκεανοί
SO ₂	0.8	Επιφάνεια γης
H ₂ SO ₄	0.1	Επιφάνεια γης
HNO ₃	0.8	Επιφάνεια γης
O ₃	0.5	Επιφάνεια γης
NO ₂	0.1	Επιφάνεια γης
H ₂ S	0.015-0.28	Επιφάνεια γης
CO	0.05	Έδαφος
COS	0.085	Έδαφος

Πηγή: (Κουϊμτζή, et al., 1998)

β) Η υγρή εναπόθεση αφορά μια φυσική διαδικασία μεταφοράς αέριων και σωματιδιακών ρύπων από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του εδάφους και τους ωκεανούς μέσω υετού. Κατά τη διαδικασία αυτή τα σωματίδια υφίστανται χημικές μετατροπές. Στα αιωρούμενα σταγονίδια της ατμόσφαιρας (ατμοσφαιρική υγρασία), πολλά αέρια διαλύονται. Σύμφωνα με τον νόμο του Henry, σε κατάσταση ισορροπίας η μερική πίεση ενός αερίου A είναι άμεσα ανάλογη με την ποσότητα του που διαλύεται σε ένα υγρό.

$$P_A = K_H(T)c$$

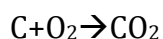
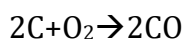
όπου c είναι η συγκέντρωση του αερίου A σε ένα υγρό, T είναι η θερμοκρασία του υγρού και K_H είναι η σταθερά του νόμου του Henry. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της σταθεράς του Henry, τόσο μικρότερη είναι η διαλυτότητα του αερίου A (Pierrehumbert, 2010). Η απομάκρυνση των αεροζόλ από την ατμόσφαιρα επηρεάζεται άμεσα από την βροχή, ωστόσο, μέσω της εξάτμισης των σταγόνων της βροχής δημιουργούνται και νέα αερολύματα (Seinfeld & Pandis, 2006). Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την

απομάκρυνση αφορούν το σχηματισμό του σύννεφου. Με συμπύκνωση υδρατμών γύρω από μικροσκοπικά αιωρούμενα σωματίδια, (διάμετρος περίπου 0.1-0.2μm) σχηματίζονται τα σταγονίδια του σύννεφου ή αλλιώς πυρήνες συμπύκνωσης σύννεφων (cloud condensation nuclei, CCN). Οι εν τέλει σταγόνες της βροχής έχουν δημιουργηθεί μέσα από πολύπλοκες μικροφυσικές διεργασίες σχηματιζόμενες γύρω από αυτούς τους πυρήνες αρχικά σε σταγονίδια με 5-20μm διάμετρο. Σε αστικά τοπία, οι πυρήνες αυτοί, έχουν και ανθρωπογενή προέλευση ενώ σε καθαρή ατμόσφαιρα είναι συνήθως κρύσταλλοι αλάτων. Κυρίως τα μικρού μεγέθους αεροζόλ (<1μm) παρασύρονται κατά μεγάλο ποσοστό από την πτώση των σταγόνων της βροχής στο έδαφος. Συγκεκριμένα εκτιμάται ότι το 70 – 80% της μάζας των αεροζόλ, που υπάρχουν στο χώρο κάτω από το σύννεφο απομακρύνονται μέσω της βροχής (Campbell, 1983).

2.5 Ανάλυση Ρύπων

2.5.1 Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άχρωμο, άγευστο, άοσμο, δηλητηριώδες αέριο που παράγεται από ατελή καύση του άνθρακα.



Εκτιμάται ότι οι οδικές μεταφορές είναι υπεύθυνες για το 90% περίπου όλων των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα στο Ηνωμένο Βασίλειο (Laybourn-Langton, et al., 2016). Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι από τους πιο διαδεδομένους ρύπους. Είναι διαλυτό στο νερό και πολύ ισχυρό οξειδωτικό το οποίο μέσω ενεργοποίησης αντιδράσεων στο φωτοχημικό κύκλο της ατμόσφαιρας, σχετίζεται με την φωτοχημική ρύπανση. Λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων του, πολλές φορές παρατηρείται καφέ όψη στον αστικό ουρανό. Το μονοξείδιο του άνθρακα επηρεάζει άμεσα τη μεταφορά οξυγόνου γύρω από το σώμα μέσω του αίματος. Η εισπνοή του σε χαμηλά επίπεδα μπορεί να οδηγήσει σε πονοκεφάλους, ναυτία, κόπωση και δυσκολία στη σαφή σκέψη. Η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι θανατηφόρα αλλά είναι κάτι που με δυσκολία συμβαίνει σε εξωτερικούς χώρους.

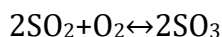
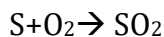
2.5.2 Οξείδια του Αζώτου (NO_x)

Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το μονοξείδιο του αζώτου απαρτίζουν τα κύρια οξείδια του αζώτου. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται είτε σε φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα είτε κατά την ανάφλεξη καύσιμης ύλης. Παγκοσμίως οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου ανέρχονται σε 60.000.000 τόνους και οι οδικές μεταφορές εκτιμάται ότι ευθύνονται για το 50% περίπου των συνολικών εκπομπών οξειδίου του αζώτου (EPA, 1999), πράγμα που σημαίνει ότι τα επίπεδα είναι υψηλότερα σε πολυσύχναστους δρόμους και σε μεγάλες αστικές περιοχές. Σημειώνεται πως αποτελούν έναν σημαντικό παράγοντα δημιουργίας της όξινης βροχής και ότι συμμετέχει στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου μαζί με το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Το άζωτο είναι επιβλαβές για την υγεία, με πιο συνηθισμένα αποτελέσματα, αναπνευστικά συμπτώματα όπως δύσπνοια και βήχας. Πιο συγκεκριμένα, το διοξείδιο του αζώτου ερεθίζει την επένδυση του πνεύμονα και μειώνει την αντίσταση του ανοσοποιητικού σε μολύνσεις των πνευμόνων, όπως η βρογχίτιδα. Με τη συμβολή των διοξειδίων του αζώτου σε δράσεις και άλλων ρυπαντών προκαλείται η δημιουργία του τροποσφαιρικού όζοντος.

2.5.3 Διοξείδιο του Θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου είναι άχρωμο αέριο με ισχυρή οσμή που παράγεται όταν καίγεται υλικό ή καύσιμο που περιέχει θείο. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι κυριότεροι συντελεστές είναι η καύση άνθρακα και πετρελαίου από τη βιομηχανία, όπως οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα διυλιστήρια (EEA, 2014). Το διοξείδιο του θείου είναι γνωστό για τη συμβολή του στη δημιουργία του φαινομένου της αιθαλομίχλης, η οποία είναι μίγμα διοξειδίου του θείου με αιωρούμενα σταγονίδια προσκολλημένα σε υδάτινες σταγόνες και αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι πηγές θειούχων ενώσεων δεν είναι μόνο ανθρωπογενείς αλλά και φυσικές όπως για παράδειγμα οι μεγάλες ποσότητες οργανικών θειούχων ενώσεων που εκπέμπονται από του ωκεανούς. Οι θειούχες ενώσεις οξειδώνονται στην ατμόσφαιρα προς διοξείδιο του θείου. Η πιο έντονη συμμετοχή στα θειικά αεροζόλ σύμφωνα με το βιογεωχημικό κύκλο του θείου είναι όντως οι ωκεανοί όμως τα συγκεκριμένα αεροζόλ είναι σχετικά ουδέτερα ως προς την οξύτητά τους αντίθετα από τα δευτερογενώς σχηματιζόμενα

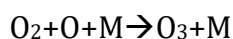
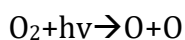
στην ατμόσφαιρα που είναι όξινα. Όσον αφορά την ανθρωπογενή συνεισφορά, οι εκπομπές προέρχονται κυρίως από καύσεις άνθρακα (60%), πετρελαίου (30%) και άλλων ορυκτών καυσίμων (10%) (EEA, 2014). Παρακάτω παραθέτονται ενδεικτικά οι αντιδράσεις σχηματισμού διοξειδίου του θείου από την καύση ορυκτών καυσίμων:



Η ποσότητα τριοξειδίου του θείου (SO₃) που παράγεται από την αντίδραση είναι συνήθως μικρή και εξαρτάται κατά βάση από τον παράγοντα της θερμοκρασίας. Η έκθεση στο διοξείδιο του θείου είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία με ασθματικά συμπτώματα ή χρόνια βρογχίτιδα λόγω στένωσης της τραχείας. Το διοξείδιο του θείου προκαλεί ζημιές στα φυτά και μέσω της μετατροπής του σε θειικό οξύ αποτίθεται στο έδαφος με όξινη βροχή. Σημειώνεται πως επειδή οι αέριες μάζες έχουν την ικανότητα να ταξιδεύουν τα όξινα σωματίδια προβλήματα αντιμετωπίζουν ακόμα και περιοχές που δεν σχετίζονται άμεσα με τις πηγές εκπομπής διοξειδίου του θείου.

2.5.4 Όζον (O₃)

Σε αντίθεση με το στρώμα του όζοντος που απαντάται φυσιολογικά στην ανώτερη ατμόσφαιρα και προστατεύει τη γη από τις ακτίνες του ηλίου, το όζον του εδάφους δεν είναι τόσο γνωστό στο ευρύ κοινό αν και ιδιαιτέρως επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. Από τη φωτόλυση του οξυγόνου παράγονται οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος στην ατμόσφαιρα (Schlesinger, 1997):



*το M υποδηλώνει οποιοδήποτε μη δραστικό είδος που μπορεί να πάρει την ενέργεια που απελευθερώνεται στην αντίδραση για να στερεοποιήσει το όζον.

Σχεδόν κανένα όζον δεν εκπέμπεται απευθείας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες αλλά συνήθως σχηματίζεται όταν άλλοι ρύποι, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του αζώτου, αντιδρούν στο ηλιακό φως. Επομένως, σε ηλιόλουστες μέρες με μολυσμένο αέρα, οι συγκεντρώσεις του όζοντος μπορούν να αυξηθούν τόσο ώστε να οδηγήσουν, σε σοβαρές περιπτώσεις, στο καλοκαιρινό «νέφος» (Cody, et al., 1992). Το όζον

αναγνωρίστηκε ως ρύπος της ατμόσφαιρας τη δεκαετία του 1940 στο Λος Άντζελες, όπου παρατηρήθηκαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. Τα υψηλά επίπεδα όζοντος μπορούν να προκαλέσουν φλεγμονή στους πνεύμονες και να ερεθίσουν τα μάτια, τη μύτη κλπ. Οι χημικές ουσίες που σχηματίζουν το όζον μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα πολλές ημέρες και συχνά μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι ο μόνος τρόπος για μείωση των επιπέδων του όζοντος είναι με πανευρωπαϊκή ή παγκόσμια δράση. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα ευρωπαϊκά επίπεδα όζοντος έχουν αυξηθεί ραγδαία από τις βικτοριανές εποχές, αν και οι συγκεντρώσεις του 2003 και 2006 ήταν περίπου οι μισές από αυτές που καταγράφηκαν το 1976 (McKinney, et al., 2007).

2.5.5 Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2.5, PM10)

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικροσκοπικά κομμάτια στερεών ή υγρών που αιωρούνται στον αέρα. Τα σωματίδια αυτά, ονομάζονται και αεροζόλ. Πρόκειται για μια σύνθετη ομάδα ρύπων που ποικίλλουν σε μέγεθος, σχήμα, σύνθεση και προέλευση. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν επίσης να διαφέρουν από τόπο σε τόπο και από καιρό σε καιρό. Τα σωματίδια που προέρχονται από την οδική κυκλοφορία περιλαμβάνουν εκπομπές άνθρακα από κινητήρες, μικρά κομμάτια μετάλλου και καουτσούκ από τη φθορά και την πέδηση του κινητήρα, καθώς και τη σκόνη από τις οδικές επιφάνειες. Άλλοι περιλαμβάνουν υλικό από κτίρια και βιομηχανία, καθώς και σκόνη που εμφυσάται από αέρα, θαλασσινό αλάτι, γύρη και σωματίδια εδάφους. Γενικά η εκπομπή των αιωρούμενων σωματιδίων προέρχεται από διεργασίες όπως η καύση, η τριβή, η διάβρωση και ο κατακερματισμός (Λαζαρίδης , 2005). Σημαντικός παράγοντας, τόσο για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, όσο και για τις επιπτώσεις τους σε περιβάλλον και υγεία, είναι το μέγεθος τους. Τα σωματίδια χαρακτηρίζονται ανάλογα με το μέγεθός τους ως χονδρόκοκκα ή λεπτόκοκκα. Χονδρόκοκκα είναι τα σωματίδια τα οποία διαθέτουν διάμετρο μεγαλύτερη ή περίπου ίση με 2.5 μm και λεπτόκοκκα εκείνα με διάμετρο μικρότερη η περίπου ίση με 2.5μm. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των σωματιδίων ανήκουν στην κατηγορία των λεπτόκοκκων και ως εκ τούτου ταξινομούνται σε ακόμα δύο κατηγορίες. Η μια κατηγορία αφορά εκείνα με διάμετρο μεταξύ 0.08 μm και 1-2μm και ονομάζεται κατηγορία accumulation και η άλλη που ονομάζεται κατηγορία nucleation και αφορά σωματίδια με μικρότερη διάμετρο από 0.08μm (Finlayson-Pitts & Pitts, 1986). Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια accumulation που πλησιάζουν το μέγεθος του μήκους

κύματος του φωτός, μέσω της σκέδασης και απορρόφησης του, μειώνουν την ορατότητα. Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα, από μερικές μέρες έως λίγες εβδομάδες και αυτό ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθός τους. Όταν το μέγεθός τους είναι μεγαλύτερο από 1μm η διάρκεια ζωής αντιστοιχεί σε λίγες μέρες και όταν είναι μικρότερο σε μερικές εβδομάδες (Λαζαρίδης , 2005). Τα αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα στο κατώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος είναι μέσω των σχηματισμών νεφών από τη διασπορά και απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα αερολύματα μπορούν να λειτουργήσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης για το σχηματισμό νεφών με αυξημένο αριθμό σταγονιδίων στα νέφη (Seinfeld & Pandis, 2006). Όταν μειώνεται το μέγεθος των αιρούμενων σωματιδίων καθυστερεί και η εκδήλωση βροχοπτώσεων άρα παρατείνεται η ύπαρξη νεφών στην ατμόσφαιρα. Με το δεδομένο ότι τα νέφη ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία το αποτέλεσμα είναι η πτώση της θερμοκρασίας. (Jacob, 1999). Ο άλλος τρόπος έχει να κάνει με την ικανότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να ανακλούν μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με επίπτωση την αύξηση του επιστρεφόμενου στο διάστημα ποσού, ηλιακής ακτινοβολίας. Κατ' επέκταση, με μεγάλες συγκεντρώσεις σωματιδίων να λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, λιγότερη ποσότητα ακτινοβολίας φθάνει στη γη και ως επίπτωση έχει την πτώση θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα (Seinfeld & Pandis, 2006). Τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στην υγεία με επιδείνωση καρδιακών και πνευμονικών νόσων αλλά και πρόωρο θάνατο.

2.6 Επιδράσεις της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στην Ανθρώπινη Υγεία

Λόγω των διάφορων συμβάντων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως η ιστορική ομίχλη του Λονδίνου το 1952, αρκετές βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιδημιολογικές μελέτες διερεύνησαν τις επιπτώσεις των αλλαγών στην ποιότητα του αέρα, στην ανθρώπινη υγεία. Ένα σταθερό εύρημα είναι ότι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι συμβάλλουν στην αύξηση της θνησιμότητας και των εισαγωγών στα νοσοκομεία (Brunekreef & Holgate, 2002). Η ποικιλία σύνθεσης των ατμοσφαιρικών ρύπων, η δόση και ο χρόνος έκθεσης καθώς και το γεγονός ότι οι άνθρωποι εκτίθενται συνήθως σε μολυσματικά μείγματα και όχι σε μεμονωμένες ουσίες, μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τα αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία κυμαίνονται από τη ναυτία και τη δυσκολία στην αναπνοή έως τον ερεθισμό του δέρματος και στη χειρίστη

περίπτωση τον καρκίνο (Cohen , et al., 2005). Από την έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκληθούν επίσης, γενετικές ανωμαλίες, σοβαρές αναπτυξιακές καθυστερήσεις στις παιδικές ηλικίες και μειωμένη δραστηριότητα του ανοσοποιητικού συστήματος, οδηγώντας σε διάφορες ασθένειες. Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες ευαισθησίας όπως η ηλικία, η διατροφικές συνήθειες του ατόμου και οι συνθήκες προδιάθεσης. Μελέτες δείχνουν ότι τα εξαιρετικά λεπτόκοκκα σωματίδια, περνούν στην κυκλοφορία του αίματος με διαφορετικούς μηχανισμούς μεταφοράς από ότι τα χονδρόκοκκα και στη συνέχεια κατανέμονται σε άλλα όργανα του σώματος συμπεριλαμβανομένου του εγκεφάλου με πιθανές νευροτοξικές επιδράσεις (Terzano, et al., 2010). Η σωματιδιακή ύλη είναι επικίνδυνη για την υγεία λόγω της απορρόφησης του που συνεπάγεται με απορρόφηση πολλών επιβλαβών ουσιών όπως: βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, υδράργυρος κλπ.) και οργανικές ενώσεις (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, διοξίνη, φουράνια κλπ.). Οι αέριοι ρύποι, ανάλογα με τη διαλυτότητά τους στο νερό, απορροφώνται στο εγγύς ή στο απώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού. Το διοξείδιο του θείου είναι εξαιρετικά υδατοδιαλυτό αέριο, επομένως δεν φθάνει στους πνεύμονες και ερεθίζει το επιθήλιο των αεραγωγών της ανώτερης αναπνευστικής οδού. Για παράδειγμα, έως 98% διοξείδιο του θείου μπορεί να απορροφηθεί στο ρινοφάρυγγα κατά τη διάρκεια της αναπνοής. Το διοξείδιο του αζώτου, είναι ένα ελαφρώς υδατοδιαλυτό αέριο, επομένως, εναποτίθεται περισσότερο περιφερειακά της αναπνευστικής οδού σε σύγκριση με το διοξείδιο του θείου, όμως δεν φθάνει στις κυψελίδες σε σημαντικές ποσότητες (Sandström, 1995). Το όζον, σε αντίθεση με το διοξείδιο του αζώτου, δεν διαλύεται στο νερό και φθάνει σε αέρια μορφή στους πνεύμονες όπου και ξεκινάει την καταστρεπτική του δραστηριότητα.

2.7 Νομοθετικό Πλαίσιο

Η δράση για τη διαχείριση και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα καθοδηγείται σε μεγάλο βαθμό από το δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο θέτει νομικά δεσμευτικά όρια για τα επίπεδα των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων. Η πλειονότητα της νομοθεσίας για την ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη και στο Ηνωμένο Βασίλειο προέρχεται από στοιχεία που βασίζονται στην υγεία και τα οποία παρέχει η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (World Health Organization – WHO). Το Τμήμα Περιβάλλοντος, Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων (Defra) είναι υπεύθυνο για την διασφάλιση της μη υπέρβασης των ορίων ατμοσφαιρικών ρύπων στην Αγγλία. Το Defra είναι επίσης

υπεύθυνο και για τον συντονισμό των αξιολογήσεων της ποιότητας του αέρα και των σχεδίων δράσης για το Ηνωμένο Βασίλειο στο σύνολό του. Η WHO έχει δημοσιεύσει διάφορες κατευθυντήριες γραμμές τόσο για την παγκόσμια ποιότητα του αέρα όσο και για την ποιότητα του αέρα στοχευμένα στην Ευρώπη με βάση τις τελευταίες έρευνες από όλο τον κόσμο. Αυτές οι γραμμές δεν είναι ούτε πρότυπα ούτε νομικά δεσμευτικά κριτήρια. Έχουν σχεδιαστεί ώστε να παρέχουν καθοδήγηση για τη μείωση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία βάσει των αξιολογήσεων εμπειρογνομώνων. Ωστόσο, πολλές διοικήσεις χρησιμοποιούν αυτές τις κατευθυντήριες γραμμές ως βάση για τα δικά τους πρότυπα ποιότητας αέρα και σε ορισμένες περιπτώσεις η βρετανική νομοθεσία για την ποιότητα του αέρα είναι αυστηρότερη από τις κατευθυντήριες γραμμές της WHO. Η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 2008/50/EC, για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (European Union, 2008) που ορίζει πρότυπα για ποικίλους ρύπους που θεωρούνται επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (European Commission, 2016). Αυτά τα πρότυπα, τα οποία βασίζονται στις κατευθυντήριες γραμμές της WHO, περιλαμβάνουν οριακές τιμές οι οποίες είναι νομικά δεσμευτικές και δεν επιτρέπεται να ξεπεραστούν. Αυτές οι οριακές τιμές περιλαμβάνουν μια τιμή συγκέντρωσης για τον ρύπο, έναν μέσο όρο της περιόδου κατά την οποία μετρείται ο ρύπος, η ημερομηνία κατά την οποία πρέπει να επιτευχθούν οι οριακές τιμές και σε ορισμένες περιπτώσεις ένας επιτρεπόμενος αριθμός υπερβάσεων ανά έτος. Η οδηγία περιλαμβάνει επίσης τιμές - στόχους, οι οποίες καθορίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως οι οριακές τιμές, αλλά είναι αυτές οι οποίες πρέπει να επιτευχθούν, όπου είναι δυνατόν, λαμβάνοντας όλα τα μέτρα που δεν συνεπάγονται δυσανάλογο κόστος. Η οδηγία του 2008 αντικατέστησε σχεδόν όλη την προηγούμενη νομοθεσία της ΕΕ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και έγινε νόμος στην Αγγλία μέσω των κανονισμών για τα πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα το 2010, ο οποίος ενσωματώνει επίσης την τέταρτη θυγατρική οδηγία για την ποιότητα του αέρα 2004/107/EC που θέτει στόχους για τα επίπεδα ορισμένων τοξικών βαρέων μετάλλων και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων του ατμοσφαιρικού αέρα (European Union, 2004). Ισοδύναμοι κανονισμοί υπάρχουν στη Σκωτία, την Ουαλία και τη Βόρειο Ιρλανδία. Υπάρχει χωριστή νομοθεσία για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων όμως η βασική νομοθεσία είναι το πρωτόκολλο UNECE του Γκέτεμποργκ (UNECE, 1999) το οποίο ορίζει τα εθνικά όρια εκπομπών (ανώτατα όρια) για, SO₂, NO_x, NH₃ και πτητικές οργανικές ενώσεις για τις χώρες της ΕΕ από το 2010 και μετά. Παρόμοια ανώτατα όρια έχουν θεσπιστεί από το ευρωπαϊκό δίκαιο βάσει της οδηγίας

2001/81/EC για τα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών του 2001 (European Union, 2001), η οποία στη συνέχεια μεταφέρθηκε στο βρετανικό δίκαιο ως οι εθνικοί κανονισμοί για τα ανώτατα όρια εκπομπών του 2002. Κατά την περίοδο 2011-2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διενέργησε ανασκόπηση της πολιτικής της ΕΕ για τον ατμοσφαιρικό αέρα, η οποία κατέληξε στην έγκριση του πακέτου πολιτικής για τον καθαρό αέρα (Clean Air Policy Package). Στο πλαίσιο του πακέτου μέτρων, η Επιτροπή πρότεινε ένα πρόγραμμα καθαρού αέρα για την Ευρώπη, επικαιροποιώντας τη θεματική στρατηγική του 2005 (EUR-Lex, 2005) για την ατμοσφαιρική ρύπανση, προκειμένου να θέσει νέους στόχους για την πολιτική της ΕΕ στον τομέα του ατμοσφαιρικού αέρα για το 2020 και το 2030. Το κύριο νομοθετικό μέσο για την επίτευξη των στόχων του προγράμματος “Clean Air”, για το 2030 είναι η οδηγία 2016/2284/EU, για τη μείωση των εθνικών εκπομπών ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 2016 (European Union, 2016). Η παρούσα οδηγία ορίζει εθνικές δεσμεύσεις μείωσης για τους πέντε ρύπους (Διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, πτητικές οργανικές ενώσεις, αμμωνία και λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια) οι οποίοι είναι, μεταξύ άλλων, υπεύθυνοι για την όξυνση, τον ευτροφισμό και τη ρύπανση του όζοντος του εδάφους, με σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον.

Πίνακας 2.2. Πρότυπα ποιότητας αέριων ρύπων

Ρύπος	Συγκέντρωση	Περίοδος Μέσου Όρου	Επιτρεπόμενες Υπερβάσεις/Χρόνο
Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ2.5)	25 µg/m ³	1χρόνος	n/a
Διοξείδιο Θείου (SO ₂)	350 µg/m ³	1Ώρα	24
	125 µg/m ³	1Μέρα	3
Διοξείδιο Αζώτου (NO ₂)	200 µg/m ³	1Ώρα	18
	40 µg/m ³	1Χρόνος	n/a
Αιωρούμενα Σωματίδια (ΑΣ10)	50 µg/m ³	1Μέρα	35
	40 µg/m ³	1Χρόνος	n/a
Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	10 mg/m ³	Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος - 8Ώρες	n/a
Όζον (O ₃)	120 µg/m ³	Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος - 8Ώρες	25 μέρες κατά μέσο όρο για 3 χρόνια
Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες	1 ng/m ³	1Χρόνος	n/a

Πηγή: (European Commission, 2016)

2.8 Περιοχή Μελέτης – Λονδίνο

Το όνομα «Λονδίνο» αναφέρεται σε 32 διαμερίσματα και το κέντρο της πόλης και έχει πληθυσμό 8,674 κατοίκους. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Λονδίνο δεν είναι πρόσφατο φαινόμενο και η νομοθεσία που προσπαθεί να ελέγξει την ατμοσφαιρική ρύπανση τέθηκε σε ισχύ από το 1306. Ο καπνός που παράγεται από την καύση του άνθρακα και τα προβλήματα που προκύπτουν από αυτές τις διαδικασίες, εξακολούθησαν να αποτελούν αντικείμενο ανησυχίας για το Λονδίνο έως τα τέλη του 20ού αιώνα με τα διάσημα νέφη της δεκαετίας του '50 και του '60. Τον Δεκέμβριο του 1952, το Λονδίνο για 5 ημέρες εγκλωβίστηκε σε μια ομίχλη ρύπων. Μέχρι το πυκνό αυτό κάλυμμα της ομίχλης να αρχίσει να υποχωρεί, περισσότεροι από 150.000 άνθρωποι είχαν νοσηλευτεί σε νοσοκομεία και 4.000 άνθρωποι είχαν χάσει τη ζωή τους. Ερευνητές εκτίμησαν ότι ο συνολικός αριθμός των θανάτων ήταν πιθανώς περισσότεροι από 13.500 άτομα, καθώς και χιλιάδες ζώα. Τα συνολικά ποσοστά θνησιμότητας ήταν περίπου 80% υψηλότερα από το προηγούμενο έτος και 50% υψηλότερα τον Ιανουάριο και 40% για τον Φεβρουάριο του 1953 (Bell, et al., 2008). Το Λονδίνο πάσχει από ατμοσφαιρική ρύπανση που συνδέεται κυρίως με οδική κυκλοφορία. Αυτό συνεπάγεται με σοβαρότατες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου. Το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπίζουν πολλές πόλεις του Ηνωμένου Βασιλείου, αλλά αυτό που κάνει το Λονδίνο να ξεχωρίζει ως ένα από τα πιο μολυσμένα μέρη του Ηνωμένου Βασιλείου είναι το μεγάλο μέγεθος της πόλης σε συνδυασμό με το εξαιρετικά πυκνό οδικό δίκτυο και τα πολύ ψηλά κτίρια. Επί του παρόντος, ο κύριος τομέας του Λονδίνου δεν έχει συμμορφωθεί με τα νομικά δεσμευτικά όρια που έχει θέσει η Ε.Ε., στη οποία άνηκε μέχρι πρότινος. Για τον λόγο αυτό η πόλη χρήζει βελτίωσης των μελετών κατανομής των πηγών εκπομπής ρύπων (Sanchez-Reyna, et al., 2005). Το Λονδίνο είναι η μεγαλύτερη πόλη της Ευρώπης όμως λόγω της γεωγραφικής της θέσης, στη δυτική άκρη της ηπείρου, καταφέρνει μέσω του φρέσκου αέρα από τον Ατλαντικό να ισορροπεί το μεγάλο του πρόβλημα με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Με όλα αυτά τα χαρακτηριστικά να το πλαισιώνουν, έχει καταστεί κεντρική εστία τόσο για την κατανόηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των επιπτώσεων της αλλά και για την καταπολέμηση των προβλημάτων που απορρέουν από αυτή. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στην πρωτεύουσα προκαλούν μια σειρά βαρύτατων επιπτώσεων στην υγεία των πολιτών που εκτιμάται ότι μόνο το 2010 προκάλεσαν έως και 9.416 θανάτους και οικονομικό κόστος £3.7 δισεκατομμύρια (Walton, et al., 2015). Ως αποτέλεσμα όλων

των παραπάνω το Ηνωμένο Βασίλειο έχει απειληθεί με πρόστιμα και νομικές ενέργειες και το Λονδίνο παίρνει τη θέση του, στην κατάταξη της βιωσιμότητας, κάτω από μεγάλες παγκόσμιες πόλεις όπως το Βερολίνο και το Παρίσι οι οποίες έχουν ήδη καταργήσει πολλά ρυπογόνα οχήματα (European Commission, 2010). Προβληματισμό προκαλεί η έξοδος του Ηνωμένου Βασιλείου από την Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς θα μειωθούν σημαντικά οι πιέσεις στην κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου για την μείωση των επιπέδων συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Παρόλο που οι κανονισμοί (του 2010) για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα παραμένουν νομικά, εάν η ΕΕ αναθεωρήσει τα όρια των συγκεντρώσεων της προς πλήρη ευθυγράμμιση με την WHO, στο Ηνωμένο Βασίλειο οι κανονισμοί δε θα καταστούν αυστηρότεροι. Καθώς η επιβολή είναι πλέον ασθενέστερη και χωρίς την απειλή για πρόστιμα του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (ΕΟΧ), η κυβέρνηση είναι σε θέση πια να καταργήσει του ισχύοντες κανονισμούς για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτό αυτομάτως μειώνει σημαντικά το κίνητρο για θέσπιση πολιτικών συμμόρφωσης. Η αβεβαιότητα που προέρχεται από τέτοιες καταστάσεις ενισχύει τις υποθέσεις για τη λήψη μέτρων αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε επίπεδο πόλης. Ο δήμαρχος του Λονδίνου διαθέτει επαρκή εξουσία για να σημειώσει ουσιαστική πρόοδο.

2.9 Σχέδιο Δράσης Λονδίνου

Ξεκινώντας από την εθνική στρατηγική της κυβέρνησης (DEFRA, 2015), για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα εντοπίζεται ότι παρέχεται ένα κυβερνητικό πλαίσιο πολιτικής για τη διαχείριση και αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα που αφορά όλο το Ηνωμένο Βασίλειο. Στην εθνική στρατηγική προσδιορίζονται πρότυπα που έχουν σχεδιαστεί τόσο για την προστασία της υγείας όσο και του περιβάλλοντος και αφορούν την ποιότητα του αέρα καθώς και στόχους για τους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Επίσης, καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο διάφοροι τομείς (βιομηχανία, μεταφορές, τοπική αυτοδιοίκηση) μπορούν να συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων για την ποιότητα του αέρα αν και περιλαμβάνει ελάχιστες άμεσες κατευθυντήριες γραμμές για την πολιτική. Έτσι έρχεται στο προσκήνιο το σχέδιο δράσης του Λονδίνου σε επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης. Η βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελεί έναν από τους έξι στόχους στο Σχέδιο του Λονδίνου. Αναφέρεται ότι στόχος είναι «το Λονδίνο να γίνει παγκόσμιος ηγέτης στη βελτίωση του περιβάλλοντος σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο, αναλαμβάνοντας την πρωτοπορία στην αντιμετώπιση της

κλιματικής αλλαγής, στη μείωση της ρύπανσης, στην ανάπτυξη οικονομίας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, στην κατανάλωση λιγότερων πόρων και στην αποδοτικότερη χρήση τους” (Greater London Authority , 2015). Επιπλέον η πολιτική του Λονδίνου 7.14, αφορά ειδικά τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, με έμφαση στη στρατηγική, τις αποφάσεις σχεδιασμού και την προετοιμασία του πλαισίου τοπικών αναπτυξιακών προγραμμάτων (Mayor of London, 2015). Με πιο σημαντική πηγή εκπομπής αέριων ρύπων στο Λονδίνο τις οδικές μεταφορές παρακάτω παραθέτονται πληροφορίες για τη Στρατηγική του Λονδίνου στο τομέα των μεταφορών.

Στόχος της πολιτικής για την ποιότητα του αέρα στο Λονδίνο είναι η επίτευξη αποδεκτών επιπέδων ρύπανσης κυρίως από οξείδια του αζώτου και αιωρούμενα σωματίδια, ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις αυτών των ρύπων. Τα μέτρα έχουν προταθεί ώστε να παραχθεί ένα μακροπρόθεσμο όραμα που αφορά τον τομέα των μεταφορών στο Λονδίνο. Στη στρατηγική του Λονδίνου ώστε η πρωτεύουσα του Ηνωμένου Βασιλείου να αποτελεί μια παγκόσμια πράσινη πόλη απαραίτητα έχουν κριθεί δύο βήματα. Η αποφυγή των καυσίμων βενζίνης και ντίζελ προς την ενίσχυση καθαρότερων και πράσινων εναλλακτικών λύσεων για ιδιωτικά και δημόσια οχήματα και η μετάβαση από το ιδιωτικό όχημα προς άλλες μορφές μεταφοράς όπως το περπάτημα, το ποδήλατο και οι δημόσιες συγκοινωνίες (Villacampa & Hedayati, 2013). Επειδή, τέτοιου είδους μεταβάσεις απαιτούν μεγάλες και συνεχείς επενδύσεις στις αντίστοιχες υποδομές, η πολιτική μεταφορών που έχει ως στόχο την ατμοσφαιρική ρύπανση, έχει επικεντρωθεί τα τελευταία χρόνια στη χρήση υβριδικών λεωφορείων με μηδενικές εκπομπές ρύπων και στην καθιέρωση Ζώνης Χαμηλών Εκπομπών (Low Emission Zone – LEZ) στην πόλη. Η Ζώνη Χαμηλών Εκπομπών του Λονδίνου είναι ένα σύστημα χρέωσης της ρύπανσης της κυκλοφορίας, το οποίο έχει ως στόχο να διασφαλίσει ότι τα πιο ρυπογόνα βαρέα πετρελαιοκίνητα οχήματα που κινούνται στην πρωτεύουσα καθίστανται καθαρότερα. Τα εμπλεκόμενα οχήματα περιλαμβάνουν τα βαρέα οχήματα, τα ελαφρά εμπορικά οχήματα, τα λεωφορεία, τα πούλμαν, τα μεγάλα φορτηγά και τα μικρά λεωφορεία. Η ζώνη αυτή, καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του Λονδίνου. Για να έχουν τη δυνατότητα να οδηγούν μέσα σε αυτή καθημερινά, αυτού του είδους τα οχήματα πρέπει να πληρούν ορισμένα πρότυπα εκπομπών, που περιορίζουν την ποσότητα των αιωρούμενων σωματιδίων που προέρχονται από τις εξατμίσεις τους. Οι εκπομπές που παράγονται από το κάθε όχημα υπολογίζονται μέσω του τύπου του οχήματος, της ηλικίας του και του εάν έχει εγκατασταθεί οποιαδήποτε τεχνολογία μείωσης των εκπομπών.

Πιο συγκεκριμένα οι δράσεις στις οποίες έχει προβεί ήδη ο δήμαρχος του Λονδίνου περιλαμβάνουν τα εξής:

- Όριο ηλικίας για τα ταξί της πόλης και απόσυρση της τάξεως των 2.600 ρυπογόνων οχημάτων
- Επενδύσεις στην ποδηλασία
- Ένα ταμείο, αφιερωμένο στον καθαρό ατμοσφαιρικό αέρα, ύψους 5 εκατομμυρίων λιρών, το οποίο στοχεύει σε μέτρα μείωσης της ρύπανσης (καταστολείς σκόνης, πράσινοι τοίχοι κλπ.), καθώς και εκστρατεία κατά της χρήσης οχημάτων στο κεντρικό Λονδίνο, όπου οι συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων είναι υψηλότερες.
- Αυστηρότερα πρότυπα για την Ζώνη Χαμηλών Εκπομπών του Λονδίνου
- Καθαρότερες κατασκευές και κατεδαφίσεις για την μείωση τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε 55.000 σπίτια και 400 δημόσια κτίρια
- Αύξηση της ευαισθητοποίησης των Λονδρέζων σχετικά με τις επιπτώσεις της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και τι μπορούν να κάνουν οι ίδιοι για να βοηθήσουν στην εξυπηρέτηση στρατηγικών κατά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Λονδίνου (Greater London Authority, 2012).

Η Ζώνη Χαμηλών Εκπομπών-LEZ, διοικείται από την “Transport of London - TfL” η οποία αποτελεί τοπικό κυβερνητικό όργανο και είναι υπεύθυνη για το σύστημα μεταφορών στο Μεγάλο Λονδίνο. Αναλυτικότερα είναι υπεύθυνη για τα διάφορα σιδηροδρομικά δίκτυα, όπως το London Underground, το London Overground, το Docklands Light Railway, και το TfL Rail. Επίσης στη δικαιοδοσία της ανήκουν τα τραμ, τα λεωφορεία, τα ταξί και είναι υπεύθυνη για την ποδηλασία στο Λονδίνο και τις ποτάμιες υπηρεσίες. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη έκθεση, η LEZ κατάφερε να είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στη μείωση των εκπομπών και η συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα και έφτασε να αγγίξει το 99% για τα βαρέα οχήματα που εισέρχονται στην πρωτεύουσα και το 98% για τα μεγάλα φορτηγά (Mayor of London, 2016).

Από το 2020 και μετά, σε εφαρμογή αναμένεται να μπει η ULEZ (Ultra Low Emission Zone). Η ULEZ αφορά την ίδια τρέχουσα ζώνη συμμόρφωσης με την LEZ, με διαφορά τα ανανεωμένα πρότυπα που θα συμπληρώνουν τις χρεώσεις που έχουν ήδη εφαρμοστεί.

Θα λειτουργεί 24 ώρες τη μέρα, κάθε μέρα (συμπεριλαμβανομένων των αργιών και των Σαββατοκύριακων) και αν το όχημα δεν πληροί τα πρότυπα εκπομπών και δεν καταβληθεί η ημερήσια χρέωση, τότε θα εκδίδεται ειδοποίηση ποινής χρέωσης. Η έναρξη της ULEZ αναμένεται να μειώσει τις εκπομπές καυσαερίων NO₂ και σωματιδίων ΑΣ₁₀ και ΑΣ_{2.5}, καθιστώντας το κεντρικό Λονδίνο όχι μόνο πιο ευχάριστο μέρος αλλά και ασφαλές για την υγεία των ευπαθών ομάδων αλλά και των κατοίκων των περιοχών υψηλής ρύπανσης. Μέσω της ULEZ υπολογίζεται πως θα βοηθηθούν ακόμα και περιοχές που δεν βρίσκονται στη ζώνη αφού τα οχήματα που θα εισέρχονται στη ζώνη θα είναι πλέον πιο οικολογικά με τη μορφή μειωμένων εκπομπών. Η ευρεία αυτή ζώνη του Λονδίνου θα μείωνε τις εκπομπές σε ποσοστό έως 60% ή περίπου το 30% των συνολικών εκπομπών οδικών μεταφορών (Mayor of London, 2016).

2.10 Χρήσεις Γης – CORINE

Η χρήση του GIS για να συνδυάσει δεδομένα σχετικά με τις χρήσεις γης εγείρει συχνά ζητήματα που οδηγούν στον πυρήνα των χρήσεων γης. Αυτά τα ζητήματα περιλαμβάνουν τη σχέση μεταξύ του ορισμού των χρήσεων γης, των «αγροτεμαχίων» στα οποία χωρίζεται η γη και των ζητημάτων απόκτησης εμπειρικών δεδομένων σχετικά με το τι καταλαμβάνει ένα συγκεκριμένο στοιχείο της γήινης επιφάνειας. Μια βασική ιδέα που βασίζεται σε όλα αυτά τα ζητήματα είναι ότι οι χρήσεις γης καθορίζουν έναν κοινωνικό σκοπό και όχι ένα σύνολο φυσικών ιδιοτήτων. Η έννοια αυτή στηρίζει τη διάκριση μεταξύ «χρήσεων γης» και «καλύψεων γης» (Rhind & Hudson, 1980). Οι μελέτες κάλυψης γης επιχειρούν να περιγράψουν την επιφάνεια της γης με ελάχιστη αναφορά στον κοινωνικό σκοπό, αναφερόμενες στις φυτικές και τεχνητές κατασκευές που καλύπτουν την επιφάνεια της γης. Στην πράξη, η εφαρμογή αυτής της διάκρισης είναι ελαστική αφού, οι περιγραφές των καλύψεων γης πρέπει να αναφέρονται στο «υλικό» που καλύπτει την επιφάνεια της γης από την άποψη της φυσικής δομής της. Το γεγονός ότι οι χρήσεις γης φέρνουν στην επιφάνεια κοινωνικούς σκοπούς σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση πολλών ζητημάτων. Οι μελέτες χρήσεων γης χαρακτηρίζονται κυρίως από την κλίμακά τους. Ο όρος κλίμακα ισχύει με δύο έννοιες, που η μια αφορά τη χωρική έκταση των αντικειμένων ενδιαφέροντος και η άλλη σχετίζεται με τη γενικότητα της αντίληψης του κοινωνικού σκοπού που χρησιμοποιείται. Μια βασική πρόκληση για όσους αναλύουν χρήσεις γης μέσω GIS για στρατηγικά ζητήματα και πολιτικές είναι πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ίδια

δεδομένα για την υλοποίηση αυτών των σκοπών σε καθεμία από τις αντιπροσωπευτικές κλίμακες (Ribby & Shepherd, 1999). Ένα ακόμα σημαντικό θέμα είναι η απόκτηση δεδομένων σε μελέτες κάλυψης / χρήσης γης. Η απόκτηση των δεδομένων σχετικά με το θέμα που καταλαμβάνει ένα συγκεκριμένο τμήμα της επιφάνειας της γης είναι ακόμα και σήμερα ιδιαίτερα δαπανηρή. Οι παραδοσιακές μέθοδοι συλλογής δεδομένων σχετικά με τις χρήσεις γης μέσω έρευνας πεδίου, ξεκινούν με μια χαρτογραφική αναπαράσταση που αποτελεί πλαίσιο μέσα στο οποίο τοποθετούνται οι μετέπειτα παρατηρήσεις για τη χρήση της γης. Η τεχνολογία της τηλεπισκόπησης, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το GIS, φαίνεται να προσφέρει την ελπίδα να μετρηθεί η κάλυψη της γης χωρίς τις πολυπλοκότητες που σχετίζονται με τα προβλήματα εκπροσώπησης και χρηματικού κόστους.

Στις 27 Ιουνίου το 1985, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, εξέδωσε απόφαση σχετικά με το πρόγραμμα CORINE. Το πρόγραμμα περιεγράφηκε ως ένα πειραματικό σχέδιο συγκέντρωσης, συντονισμού και διασφάλισης της συνοχής των πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων στην κοινότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EUR-Lex, 1985). Μέσω του CORINE, δίνεται η ευκαιρία για σωστή κατανόηση διαφόρων χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος, προκειμένου να προσδιοριστεί η περιβαλλοντική διάσταση σε τέτοιο βαθμό ώστε να εκτιμηθούν σωστά οι επιπτώσεις διάφορων πολιτικών που αφορούν το περιβάλλον. Μερικά από τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν είναι:

- Η κατάσταση μεμονωμένων περιβαλλόντων
- Η γεωγραφική κατανομή και η κατάσταση φυσικών περιοχών
- Η γεωγραφική κατανομή και η αφθονία της άγριας πανίδας και χλωρίδας
- Η ποιότητα και η αφθονία των υδάτινων πόρων
- Η δομή του εδάφους και η κατάσταση του
- Οι ποσότητες των τοξικών ουσιών που απορρίπτονται στο περιβάλλον
- Κατάλογοι φυσικών κινδύνων κλπ. (EEA, 1995)

Ένας από τους στόχους του προγράμματος είναι να συγκεντρώσει όλες τις προσπάθειες που γίνονται κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε διάφορα επίπεδα (διεθνές, κοινοτικό, εθνικό, περιφερειακό) για την απόκτηση περισσότερων πληροφοριών για το περιβάλλον για το περιβάλλον και τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει. Έχουν ληφθεί δύο

βασικοί τύποι συμπληρωματικών δράσεων για την επίτευξη των στόχων του προγράμματος:

- Καθιέρωση διαδικασιών συλλογής, τυποποίησης και ανταλλαγής δεδομένων για το περιβάλλον στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Τη δημιουργία ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών για την παροχή των πληροφοριών για το περιβάλλον, που είναι απαραίτητο για την προετοιμασία και την εφαρμογή των ευρωπαϊκών πολιτικών.

Οι καλύψεις γης αποτελούν ένα μέρος του προγράμματος CORINE και αποσκοπούν στην παροχή συνεκτικών τοπικών γεωγραφικών πληροφοριών σχετικά με την κάλυψη της γης των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το έργο αυτό έχει κριθεί απαραίτητο για τους ακόλουθους λόγους:

- Οι προκαταρκτικές εργασίες σχετικά με το σύστημα πληροφόρησης CORINE, έδειξαν ότι οι πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη της γης, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την αρωγή, τα συστήματα αποχέτευσης κλπ., ήταν απαραίτητες για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Οι πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη της γης αποτελούν επομένως μια πηγή αναφοράς για διάφορα σχέδια βάσεων δεδομένων CORINE.
- Σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη της γης, είναι ανομοιογενείς, κατακερματισμένες και δύσκολο να συλλεχθούν (EEA, 2000).

Έτσι, στο σύστημα CORINE, οι πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη της γης και την μεταβλητότητά της είναι άμεσα χρήσιμες για τον καθορισμό και την εφαρμογή περιβαλλοντικής πολιτικής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με άλλα δεδομένα για μελέτες κλίματος, κλίσεων, εδάφους κλπ., ώστε να πραγματοποιηθούν σύνθετες έρευνες και χαρτογραφήσεις. Τα οφέλη από τη χρήση ενός κοινού σχεδίου για την κάλυψη κοινοτικών και εθνικών (ή ακόμα και περιφερειακών) αναγκών, επηρέασαν σημαντικά τα γενικά χαρακτηριστικά του έργου κάλυψης γης τα οποία είναι η κλίμακα, η περιοχή της μικρότερης μονάδας χαρτογράφησης και η ονοματολογία (EEA, 2000). Όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαθέτουν προηγμένα στατιστικά συστήματα που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη της γης και τις χρήσεις γης. Αυτές οι πληροφορίες όμως επεξεργάζονται σε διαφορετικούς βαθμούς, ανάλογα τη χώρα και

έτσι δεν παρέχουν πάντα το ίδιο ποσό λεπτομερειών. Κατά κανόνα, οι πληροφορίες αυτές αποτελούν υποπροϊόν των τακτικών περιοδικών στατιστικών στοιχείων και παρέχουν σαν στατιστικά στοιχεία μια γενική προοπτική για το σχέδιο του CORINE. Οι πληροφορίες του CORINE παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της κάλυψης της γης και έτσι χρησιμεύουν ως οδηγός για φωτοερμηνείες. Είναι επίσης ένας τρόπος επαλήθευσης των αποτελεσμάτων κάλυψης της γης, μολονότι πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή κατά τη σύγκριση, επειδή χρησιμοποιούνται διαφορετικές ονοματολογίες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι παράγοντες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να συσχετιστούν με τα σχέδια χρήσεων γης, η διαδικασία μπορεί να συμπληρώσει τα παραδοσιακά μέτρα φυσικού ελέγχου και ξεπερνούν εγγενώς ορισμένους από τους τεχνολογικούς και οικονομικούς περιορισμούς αυτών των μέτρων. Η ενσωμάτωση του ελέγχου ρύπανσης της ατμόσφαιρας μέσω συσχέτισης με τον σχεδιασμό μεγάλης εμβέλειας χρήσεων γης, περιλαμβάνει διαδικασίες χωροταξικού σχεδιασμού, έλεγχο εκπομπών, προσδιορισμό της δρομολόγησης των οδικών αρτηριών κλπ. (Dajani, et al., 1977). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποφευχθεί η δημιουργία κεντρικών πηγών εκπομπών ρυπογόνων αερίων και να εξασφαλιστούν τα πρότυπα των οικιστικών, εμπορικών και βιομηχανικών δικτύων ανάπτυξης και μεταφοράς σύμφωνα με τα πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

2.11 Το Λογισμικό

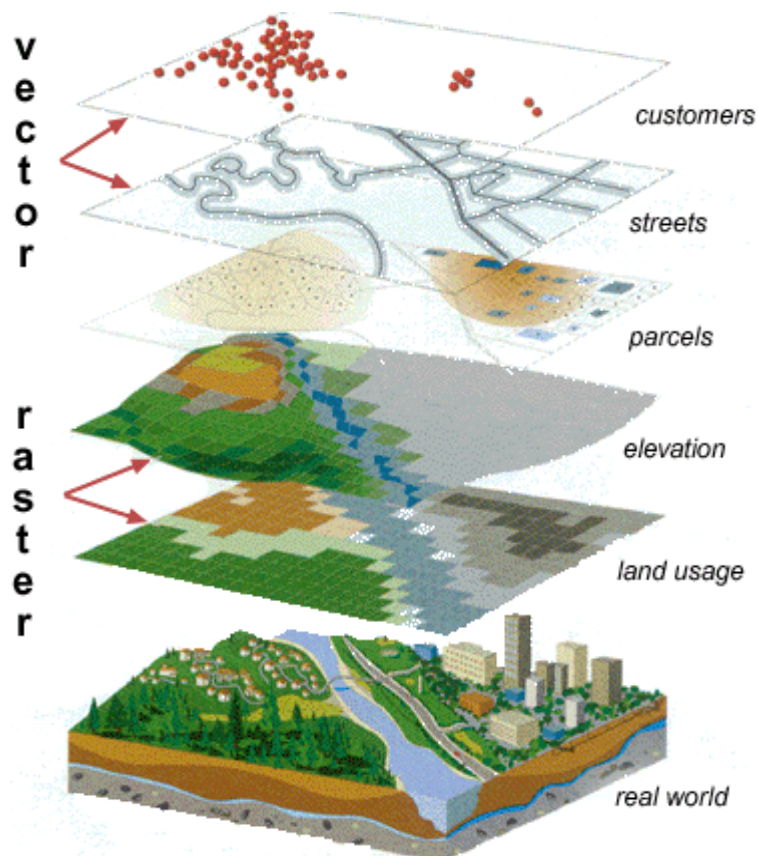
Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, έχουν αναπτυχθεί ειδικά υπολογιστικά συστήματα για την επεξεργασία πληροφοριών που αφορούν τη γη. Αυτά περιλαμβάνουν, την οργάνωση των μερών της διαθέσιμης πληροφορίας, τη χωροθέτηση της πληροφορίας και την εκτέλεση υπολογισμών, δείχνοντας σχέσεις και κάνοντας αναλύσεις που παλαιότερα ήταν αδύνατες (Λουκάς & Γκιάλης, 2007). Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι ένα σύστημα πληροφορικής για τη συλλογή, την αποθήκευση, τον έλεγχο και την προβολή δεδομένων που σχετίζονται με θέσεις στην επιφάνεια της γης. Το GIS μπορεί να παρουσιάσει πολλά διαφορετικά είδη δεδομένων σε έναν χάρτη. Αυτό, επιτρέπει στους ανθρώπους να βλέπουν, να αναλύουν και να κατανοούν καλύτερα τα πρότυπα και τις σχέσεις. Με την τεχνολογία GIS, οι άνθρωποι μπορούν να συγκρίνουν τις θέσεις διαφορετικών πραγμάτων, προκειμένου να ανακαλύψουν πως σχετίζονται μεταξύ τους. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας το GIS, ο ίδιος χάρτης θα μπορούσε να περιλαμβάνει τοποθεσίες που παράγουν ρύπανση,

όπως βενζινάδικα, περιοχές που γίνονται μετρήσεις ρύπανσης, δηλαδή σταθμοί και περιοχές ευαίσθητες στη ρύπανση, όπως υγροβιότοποι. Ένας τέτοιος χάρτης θα μπορούσε να βοηθήσει τους ανθρώπους να καθορίσουν ποιοι υγροβιότοποι κινδυνεύουν περισσότερο. Στο GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε πληροφορία που περιλαμβάνει τοποθεσία. Η τοποθεσία μπορεί να εκφραστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, όπως γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος, διεύθυνση ή ταχυδρομικό κώδικα. Πολλοί διαφορετικοί τύποι πληροφοριών μπορούν να συγκριθούν και να αντιπαραβληθούν με τη χρήση του λογισμικού (Heywood, et al., 2002) . Το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με ανθρώπους, όπως τον πληθυσμό, το εισόδημα ή το επίπεδο εκπαίδευσης. Μπορεί να περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη γη, όπως η τοποθεσία ποταμών, διάφορα είδη βλάστησης και διάφορα είδη εδάφους. Μπορεί να περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με εγκαταστάσεις εργοστασίων, αγροκτημάτων και σχολείων, αποχετευτικών αγωγών, δρόμων και γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα λογισμικό GIS είναι μια οργανωμένη συλλογή εξοπλισμού γεωγραφικών δεδομένων, σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να συγκεντρώνει, να αποθηκεύει, να ενημερώνει, να επεξεργάζεται, να αναλύει αλλά και να παρουσιάζει όλους τους τύπους γεωγραφικών πληροφοριών. Οι βασικοί τύποι γεωγραφικών πληροφοριών είναι:

- Χωρική / χαρτογραφική πληροφορία. Η χωρική / γεωγραφική πληροφορία είναι ο προσδιορισμός της θέσης των γεωγραφικών δεδομένων με βάση ένα σύστημα αναφοράς, καθώς επίσης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δεδομένων αυτών.
- Περιγραφική πληροφορία. Η περιγραφική πληροφορία είναι τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών δεδομένων, που έχουν σχέση με τις ποιοτικές και ποσοτικές ιδιότητες του γεωγραφικού χώρου. Για παράδειγμα ποιοτική πληροφορία είναι η κατανομή των χρήσεων γης μιας περιοχής σε ένα χάρτη, ενώ ποσοτική πληροφορία είναι η κατανομή του πληθυσμού σε διάφορες οριοθετημένες περιοχές (Λουκάς & Γκιάλης, 2007).

Τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν σε πολλές μια από αυτές είναι τα δεδομένα που βρίσκονται ήδη σε μορφή χαρτών. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως τοποθεσία ποταμών, οδών κλπ. Μπορούν επίσης να εισαχθούν ψηφιακά ή μηχανογραφικά δεδομένα όπως δεδομένα από δορυφόρους που αφορούν για παράδειγμα χρήση γης, θέσεις πόλεων ή δασών. Άλλη μια μορφή δεδομένων είναι αυτά που περιλαμβάνονται σε μορφή πίνακα, όπως για παράδειγμα πληθυσμιακή

πληροφορία. Όλα αυτά τα δεδομένα, ανεξάρτητα από την αρχική τους πηγή ή μορφή, μπορούν μέσω του GIS να αλληλοεπιδρούν και να επικαλύπτονται παράλληλα σε έναν ενιαίο χάρτη.



Εικόνα 2.2. Διαφορετικά επίπεδα πληροφοριών στο GIS, συνδυασμένα μεταξύ τους.
Πηγή: (NOOA, 2010).

Θεμελιώδους σημασίας για τη χωρική ανάλυση είναι η έννοια του τόπου, όπου στην επιφάνεια της γης δίνεται ένα δεδομένο χαρακτηριστικό ή μια ομάδα χαρακτηριστικών εκεί που βρίσκεται. Η πλειονότητα της χωρικής ανάλυσης διεξάγεται με χαρακτηριστικά που υπάρχουν στον δισδιάστατο χώρο. Πιο πολύπλοκες αναλύσεις μπορούν να διεξαχθούν σε τρισδιάστατα δεδομένα όπως για παράδειγμα, χαρακτηριστικά που υπάρχουν πάνω ή κάτω από την επιφάνεια της γης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα σύνολα των δεδομένων που βασίζονται στο GIS, μπορούν να εξετάσουν μια τέταρτη διάσταση, τον χρόνο.

2.11.1 Vector

Τα διανυσματικά δεδομένα (Vector) κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας σημεία. Η θέση αυτών των σημείων ορίζεται από τρεις συντεταγμένες x, y και z . Απαιτείται τουλάχιστον ένα ζεύγος συντεταγμένων x και y ώστε να καθοριστεί θέση ενός σημείου. Η συντεταγμένη z μπορεί να αντιπροσωπεύει μια πρόσθετη τιμή που σχετίζεται με ένα σημείο, για παράδειγμα, τιμή που να αντιστοιχεί στην ανύψωση. Οι τιμές των συντεταγμένων είναι συνάρτηση του συστήματος συντεταγμένων στο οποίο αποθηκεύονται τα δεδομένα. Οι τιμές ανύψωσης z , μπορούν επίσης να αποθηκευτούν σε μια ποικιλία μονάδων όπως μέτρα ή πόδια. Ένα μοντέλο διανυσματικών δεδομένων (Vector) χρησιμοποιεί σημεία με τις σχετικές συντεταγμένες x και y ώστε να κατασκευάσει χωρικά χαρακτηριστικά με τη μορφή σημείων, γραμμών και πολύγωνων. Τα σημεία έχουν μηδενική διάσταση, και έχουν μόνο την ιδιότητα της τοποθεσίας. Στην περίπτωση των γραμμών, η πιο απλή γραμμή ορίζεται από δύο σημεία. Το ένα σημείο είναι το σημείο έναρξης και το άλλο το σημείο λήξης ή τελικό σημείο. Το σχήμα πιο σύνθετων γραμμών ορίζεται από έναν άπειρο αριθμό σημείων που υπάρχουν μεταξύ του σημείου έναρξης και του τελικού σημείου. Οι καμπυλωτές γραμμές μπορούν να εξομαλυνθούν αυξάνοντας τον αριθμό των σημείων. Τα πολύγωνα είναι κλειστές γραμμές δύο διαστάσεων που διαθέτουν χαρακτηριστικά με τις ιδιότητες μιας περιοχής και της περιμέτρου της (Blyth, et al., 2008). Η εκάστοτε αυτή περιοχή, μπορεί να υπάρχει μόνη της ή να συνδέεται με άλλα χαρακτηριστικά μέσω κοινών ορίων. Η τοπολογία ορίζει τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των συνδετικών ή παρακείμενων χαρακτηριστικών διανυσμάτων. Ένα παράδειγμα για το πώς τα πολύγωνα μοιράζονται κοινά όρια και πως αλληλοεπιδρούν οι γραμμές μεταξύ τους είναι οι οδικές διασταυρώσεις. Τα χαρακτηριστικά των σημείων, των γραμμών και των πολύγωνων, συσχετίζονται με κάθε ξεχωριστό δεδομένο που παρέχεται και μπορούν να αποθηκευτούν είτε μέσα στο σύνολο χωρικών δεδομένων, είτε σε ανεξάρτητους πίνακες χαρακτηριστικών που σχετίζονται με χωρικά χαρακτηριστικά μέσω ενός μοναδικού αναγνωριστικού. Τα διακριτά χαρακτηριστικά (μεμονωμένα διακριτά χαρακτηριστικά), όπως οι θέσεις δειγματοληψίας (συνήθως αποθηκευμένες ως σημεία), οι δρόμοι (συνήθως αποθηκευμένοι ως γραμμές) και τα όρια των αγροτεμαχίων (συνήθως αποθηκευμένα ως πολύγωνα) αποτελούν παραδείγματα δεδομένων που τυπικά αντιπροσωπεύονται από έναν φορέα, μοντέλο δεδομένων. Τα διανυσματικά δεδομένα και μοντέλα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι:

- Τα δεδομένα αποθηκεύονται αποτελεσματικά με μεγάλη ακρίβεια
- Απαιτούν περίπου το 10% του χώρου αποθήκευσης σε σχέση με τον χώρο αποθήκευσης που απαιτούν τα ίδια δεδομένα σε μορφή Raster
- Ορισμένοι τύποι τοπολογικής ανάλυσης είναι πιο αποτελεσματικό, ή μόνο δυνατόν να συμβούν, σε διανυσματική μορφή
- Μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρεια
- Μεγαλύτερη ευελιξία στην αποθήκευση και τον χειρισμό των δεδομένων των διάφορων χαρακτηριστικών (Chang, 2006).

2.11.2 Raster

Σε ένα πλεγματοειδές (Raster) μοντέλο δεδομένων, τα δεδομένα αντιπροσωπεύονται από μια επιφάνεια χωρισμένη με ένα πλέγμα κυψελών τακτικού μεγέθους. Συνήθως ένα Raster, είναι ένα πλέγμα που έχει μια προέλευση (συνήθως άνω αριστερή γωνία) και η θέση του κάθε εικονοστοιχείου ορίζεται από αυτή την προέλευση και μια μετατόπιση. Ένα πλέγμα δεδομένων είναι συνήθως ένα ορθογώνιο σχήμα και το μέγεθός του ορίζεται από μια σειρά γραμμών και στηλών. Η έκταση του πλέγματος υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το μέγεθος του πλέγματος (αριθμός των στηλών ανά αριθμό σειρών) κατά το μέγεθος ενός εικονοστοιχείου. Παρόλο που είναι δυνατή μια μεγάλη ποικιλία μορφών Raster, όπως για παράδειγμα τρίγωνα ή εξάγωνα, γενικά χρησιμοποιείται μια σειρά από ορθογώνια ή πιο συχνά τετράγωνα, που ονομάζονται κελιά κανάβου. Κάθε κελί, αποθηκεύει ένα χαρακτηριστικό ή μια τιμή που σχετίζεται με ένα τμήμα της επιφάνειας της γης. Ένα μοντέλο δεδομένων Raster, είναι ιδανικό για την αποθήκευση των πληροφοριών που σχετίζονται με συνεχή χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά που δεν είναι χωρικά διακριτά όπως για παράδειγμα δεδομένα θερμοκρασίας ή ανύψωση. Οι εικόνες, όπως οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες, αποθηκεύονται σε μια απλή δομή δεδομένων βασισμένη σε σειρές και στήλες που συνδέονται με τοποθεσίες σταθερών κελιών (Blyth, et al., 2008). Κάθε κελί στον κανάβο έχει καθορισμένο πλάτος και ύψος με κελιά που κυμαίνονται από μερικά εκατοστά ή μέτρα έως ένα τετραγωνικό χιλιόμετρο. Η διάσταση των κελιών είναι συνήθως συνάρτηση της ανάλυσης των δεδομένων. Το μέγεθος των κελιών καθορίζει το κατά πόσο αντιπροσωπεύονται με ακρίβεια και λεπτομέρεια τα δεδομένα. Όσο πιο σύνθετα είναι τα δεδομένα, τόσο περισσότερα κελιά απαιτούνται για την ακριβή

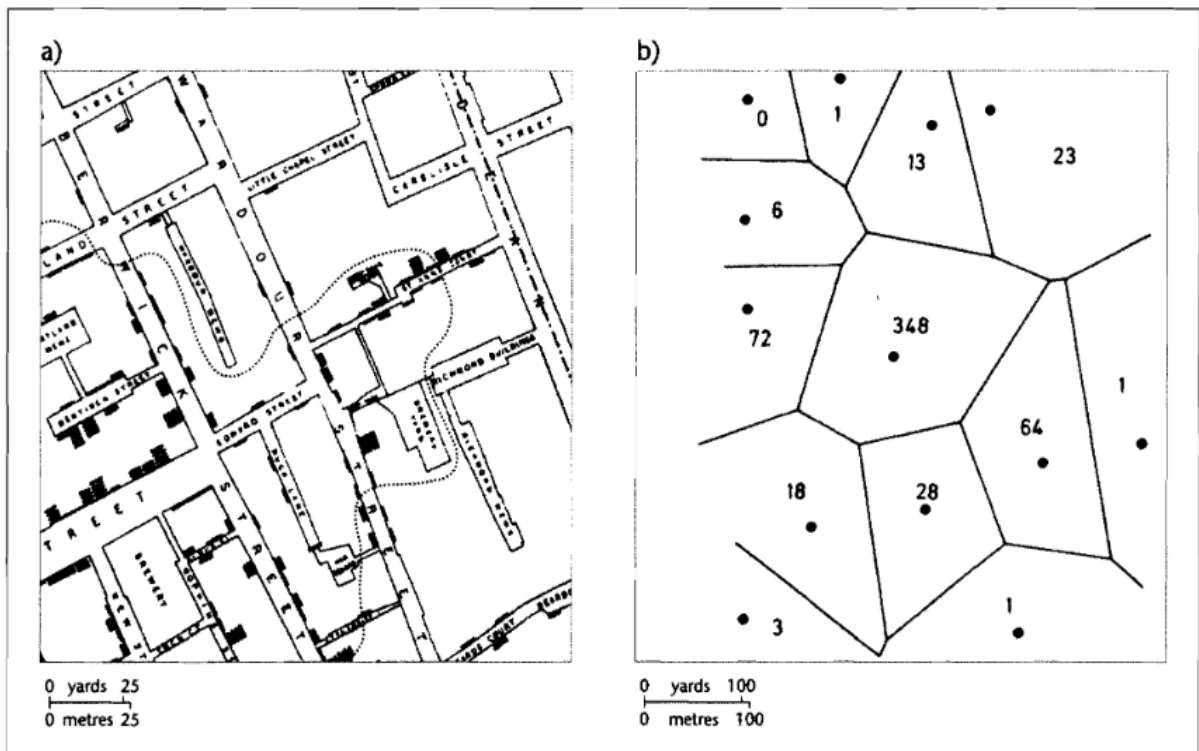
αναπαράσταση των δεδομένων. Τα πλεγματικά μοντέλα και δεδομένα έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Απλό μοντέλο δεδομένων
- Οι πολλαπλές λειτουργίες χωρικής ανάλυσης συχνά αποδεικνύονται απλούστερες και γρηγορότερες
- Αποτελεσματικότητα για τα δεδομένα με μεγάλη χωρική μεταβλητότητα
- Αποτελεσματικότητα για δεδομένα με χαμηλή χωρική μεταβλητότητα όταν αυτή συμπιέζεται
- Εύκολη ενσωμάτωση με δορυφορικά και απομακρυσμένα δεδομένα (Chang, 2006).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έγινε χρήση του προϊόντος GIS, ArcGIS της εταιρείας ESRI. Η ESRI παρέχει τις υπηρεσίες της στον χώρο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) από το 1969 και εδρεύει στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Οι πληροφορίες που παραθέτονται αφορούν όχι μόνο γενικά τα GIS αλλά και συγκεκριμένα το περιβάλλον του λογισμικού των ArcMap και ArcGIS Pro. Πολύ σημαντική στη χρήση των GIS είναι η διαδικασία της γεωεπεξεργασίας. Ο βασικός σκοπός της είναι η παροχή εργαλείων και πλαισίων για την ανάλυση και τη διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων. Τα εργαλεία της γεωεπεξεργασίας παρέχουν υπηρεσίες που κυμαίνονται από απλά buffers και πολυγωνικές επικαλύψεις μέχρι σύνθετες αναλύσεις παλινδρόμησης και ταξινόμηση εικόνων.

2.12 Η ιστορία του GIS

Οι χάρτες είναι ένα ταξίδι στο χρόνο. Ένας χάρτης δεν δείχνει μόνο τη γεωγραφία αλλά ουσιαστικά ζωγραφίζει τα σημαντικά σημεία μιας ιστορίας. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ξεκίνησαν τον 1854 πάλι από την περιοχή του Λονδίνου όταν η χολέρα έπληξε την πόλη. Τότε, ο βρετανός γιατρός John Snow ξεκίνησε να χαρτογραφεί τις εστίες, τους δρόμους, τα όρια ιδιοκτησίας και το υδρογραφικό δίκτυο. Όταν ολοκλήρωσε την σύνθεση των χαρακτηριστικών σε ένα χάρτη συνειδητοποίησε κάτι πολύ ενδιαφέρον. Τα περιστατικά της χολέρας εμφανιζόντουσαν συνήθως κατά μήκος των γραμμών του υδρογραφικού δικτύου. Ο Snow ήταν ίσως ο πρώτος που χρησιμοποίησε προσεκτικά την γειτνίαση ως μέθοδο μέτρησης στην ανάλυση της έντασης και της διάχυσης μιας ασθένειας τέτοιας κλίμακας (Koch, 2004).



Εικόνα 2.3. Οι δύο απόψεις του χάρτη Snow για τη χολέρα. Οι αριθμοί στα πολύγωνα αντιπροσωπεύουν τους θανάτους. Πηγή: (Koch, 2004).

Το έργο του John Snow έδειξε ότι το GIS, είναι ένα εργαλείο επίλυσης προβλημάτων καθώς τοποθετώντας γεωγραφική πληροφορία σε στρώματα χάρτη κατάφερε να καταλήξει σε μια διαπίστωση που έσωσε ζωές. Το 1968 το GIS, εξελίχθηκε στην χρήση υπολογιστών. Ο Roger Tomlinson χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον όρο «Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών» στην εργασία του «Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών Περιφερειακού Σχεδιασμού». Κάπως έτσι το GIS έγινε ένα εργαλείο για αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων εδάφους με βάση τον υπολογιστή. Ο Roger Tomlinson που πέθανε το 2014 παρέμεινε στα χρονικά ως ο «πατέρας του GIS» (Sadiku, et al., 2017). Οι κυβερνήσεις συνειδητοποιούσαν τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής χαρτογράφησης και αυτό ήταν κάτι που επηρέασε το Εργαστήριο Υπολογιστών του Harvard. Έτσι, στα μέσα του 1970, το Harvard Laboratory Computer Graphics, ανέπτυξε τον πρώτο Vector GIS που ονομαζόταν ODYSSEY GIS. Αργότερα το ArcInfo της ESRI, χρησιμοποίησε το τεχνικό πλαίσιο από το ODYSSEY GIS, όπου και επήλθε σαν στάδιο ανάπτυξης η εμπορευματοποίηση του λογισμικού. Σταδιακά η σημασία της χωρικής ανάλυσης αναγνωρίστηκε και το GIS εισήχθη σε πανεπιστημιακές έρευνες, αίθουσες διδασκαλίας και επιχειρήσεις. Το λογισμικό πλέον μπορούσε να επεξεργαστεί όχι μόνο δεδομένα Vector αλλά και Raster με ολόενα και περισσότερους δορυφόρους να

εκτοξεύονται σε τροχιά. Πλέον οι επεξεργαστές του λογισμικού είναι σε gigahertz και η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται σε terabytes αντί για megabytes που ήταν κάποτε. Οι επιλογές σε εμπορικά προϊόντα GIS άρχισαν να πληθαίνουν τα τελευταία χρόνια όμως αυτό που πραγματικά ξεχώρισε είναι η μεγάλη τάση των χρηστών του GIS στο να χτίζουν το δικό του λογισμικό με ανοιχτούς, συνεργατικούς τρόπους. Αυτά τα λογισμικά είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό και ονομάζονται λογισμικά ανοιχτού κώδικα ή ελεύθερα λογισμικά. Το πιο γνωστό από αυτά τα λογισμικά είναι το QGIS και χάρει του πλεονεκτήματος πως είναι ένα ανέξοδο λογισμικό και εύκολο στη δημόσια χρήση. Στην ιστορία του GIS ουσιαστικά πραγματοποιείται η μεταβίβαση από στατικούς χάρτινους χάρτες σε δυναμικούς ψηφιακούς χάρτες και από βασικά επίπεδα ανάλυσης σε πολύπλοκη επίλυση προβλημάτων.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που οδήγησε στη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

3.1 Σκοπός και Στόχοι

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η ανάδειξη της χρήσης λογισμικού GIS σε θέματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μέσα από διαδικασίες χωροχρονικής και χωρικής ανάλυσης στόχος είναι να δοθεί απεικονιστικά εικόνα του βαθμού εξέλιξης του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Λονδίνο. Απώτερος σκοπός είναι η χρήση τέτοιων αναλύσεων και μεθόδων να χρησιμοποιούνται για συμπεράσματα που οδηγούν στη βελτίωση και την αντιμετώπιση τέτοιων συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα και όπως έχει προαναφερθεί σε παραπάνω κεφάλαιο η βαθιά κατανόηση της συγκέντρωσης της ρύπανσης οδηγεί τόσο στην αποφυγή των συνθηκών δημιουργίας της αλλά και στην τόνωση των προσπάθειών και των μέτρων καταπολέμησης της. Η χωροχρονική ανάλυση πραγματοποιείται προκειμένου να αντισταθμιστούν τα ανησυχητικά στατιστικά και να αναληφθεί δράση για τον καθαρισμό του λονδρέζικου ατμοσφαιρικού αέρα (και του αέρα σε ολόκληρο τον πλανήτη). Μέσω της συγκεκριμένης μελέτης στοχεύεται να είναι πιο ευκρινής η περιοχή που πάσχει πιο έντονα από συγκεντρωμένη ατμοσφαιρική ρύπανση, πως εμφανίζεται, ποια στοιχεία εμπλέκονται και ποιοι είναι οι παράγοντες που συσχετίζονται και μπορούν να εξουδετερωθούν. Η προβολή και η απεικόνιση ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO_x), του όζοντος (O₃), διοξειδίου του θείου (SO₂) και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀ & PM_{2,5}), καταφέρνουν όχι μόνο να γίνει γνωστό ποιες περιοχές πλήττονται από έντονη ατμοσφαιρική ρύπανση αλλά και να βοηθήσει στην αποφυγή των υπερβολικά ενεργών μολυσμένων περιοχών στις καθημερινές συνήθειες των πολιτών. Έτσι μέσω της χαρτογράφησης απεικονίζεται η ιστορία του

Λονδίνου κατά την τελευταία περίπου δεκαετία, συγκεντρώνοντας πληροφορία από μολυσμένες περιοχές στις οποίες υπάρχουν σχολεία, παιδικοί σταθμοί κλπ., επομένως ο χάρτης μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο πληροφόρησης και βοήθειας. Τέλος, στόχος και σκοπός είναι να απαντηθούν τα παρακάτω ερευνητικά ερωτήματα.

3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που τίθενται στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή περιστρέφονται γύρω από την διαχρονική εξέλιξη των ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή του Λονδίνου και σχετίζονται με τόσο με την αποδοτικότητα των νέων τεχνολογιών σε προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης όσο και με το πως αλληλεπιδρά η ατμοσφαιρική επιβάρυνση ανά ρύπο και χωρικό σημείο σε βάθος χρόνου. Τα ερωτήματα καλούνται να απαντήσουν οι απεικονιστικοί χάρτες που μεταφράζουν νοήματα συσχέτισης μεταξύ ρύπων και χρήσεων γης, μεταξύ εποχιακών διακυμάνσεων καθώς και των μέτρων που έχουν ληφθεί μέσα στα τελευταία χρόνια και πως αυτά έχουν επηρεάσει τις αυξομειώσεις των ρύπων ανά περιοχή. Πιο αναλυτικά τα ερευνητικά ερωτήματα στο σύνολό τους έχουν την παρακάτω μορφή.

- Πώς συμμετέχει το λογισμικό GIS στην καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης;
- Πώς εξελίσσεται η ατμοσφαιρική ρύπανση στο Λονδίνο τα τελευταία 20 έτη;
- Υπάρχει θετική η αρνητική ανταπόκριση στα μέτρα αντιμετώπισης που έχουν ληφθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή του Λονδίνου;
- Τι πρέπει να αλλάξει ώστε να υπάρξουν μεγαλύτερες αλλαγές ή βελτιώσεις στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης;
- Είναι εφικτοί οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις εκπομπές ρύπων το 2025;
- Ποιες περιοχές του Λονδίνου φαίνονται να αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες προκλήσεις σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση;
- Ποιες είναι οι διαφορές μεταξύ θερινών και χειμερινών μηνών στις εκπομπές των ρύπων;

3.3 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από την επίσημη ιστοσελίδα του δημόσιου ερευνητικού κέντρου του Λονδίνου «King's College» και είναι ιδρυτικό ίδρυμα του ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του Λονδίνου. Επιλέχθηκαν 25 σταθμοί με βασικό κριτήριο το χρονικό βάθος των δεδομένων καθώς τελικός στόχος είναι η παρατήρηση των ρύπων εξελικτικά μέσα στα χρόνια. Αν και υπήρχε δυνατότητα επιλογής περισσότερων σταθμών κρίθηκε σκόπιμο να επιλεγούν μόνο οι σταθμοί που είναι ακόμα εν ενεργεία και δεν έχουν κλείσει. Η χρονική περίοδος που επιλεγόταν ήταν πάντα από 1 Ιανουαρίου του 1993 έως 31 Δεκεμβρίου του 2016, καθώς τα δεδομένα δεν ήταν απαραίτητο ότι θα έχουν πληροφoρία σε πληρότητα όλων των χρόνων και μέσω αυτού επιτυγχανόταν η μέγιστη δυνατή πληροφoρία. Οι τιμές επιλέχθηκε να ακολουθούν τη μορφή της μέσης τιμής ανά ημέρα ώστε να είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμος ο μεγάλος όγκος των δεδομένων κατά την επεξεργασία τους αλλά και περισσότερο ευανάγνωστος οπτικά στην μετέπειτα απεικόνιση. Επίσης οι σταθμοί επιλέχθηκαν ώστε να έχουν δεδομένα σε τουλάχιστον τέσσερις κοινούς ρύπους. Οι ρύποι που θα εξεταστούν στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή στο σύνολό τους είναι τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2,5 και PM10), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το Όζον (O₃).

1. Select up to 6 species:

Carbon Monoxide (mg/m3)

Nitric Oxide (ug/m3)

Nitrogen Dioxide (ug/m3)

Oxides of Nitrogen (ug/m3 as NO2)

Ozone (ug/m3)

PM10 Particulate (by FDMS) (ug/m3)

PM2.5 Particulate (by FDMS) (ug/m3)

Sulphur Dioxide (ug/m3)

2. Select time period: 1 Jan 1993 to 31 Dec 2016

Note: date shown is for the start of the day, ie, time 00:00.

3. Select averaging period: Daily Mean

Εικόνα 3.1. Επιλογή ρύπων και χρονικής περιόδου.

Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν είναι ονομαστικά οι παρακάτω:

- BEXLEY – Belvedere West
- BEXLEY - Slade Green
- BRENT – IKEA
- CAMDEN – Bloomsbury
- GREENWICH – Elthan
- GREENWICH - Westhorne Avenue
- GREENWICH - Woolwich Flyover
- Greenwich and Bexley – Falconwood
- Hackney - Old Street
- Haringey - Haringey Town Hall
- Harrow – Stanmore
- Hillingdon – Harlington
- Hillingdon - Keats Way

- Kensington and Chelsea - North Ken
- Reading - New Town
- Redbridge - Gardner Close
- Reigate and Banstead – Horley
- Richmond Upon Thames - Barnes Wetlands
- Sevenoaks - Greatness Park
- Southwark - Elephant and Castle
- Thurrock - London Road (Grays)
- Tower Hamlets – Blackwall
- Westminster - Horseferry Road
- Westminster - Marylebone Road
- GREENWICH - Plumstead High Street

3.3 Διαδικασία

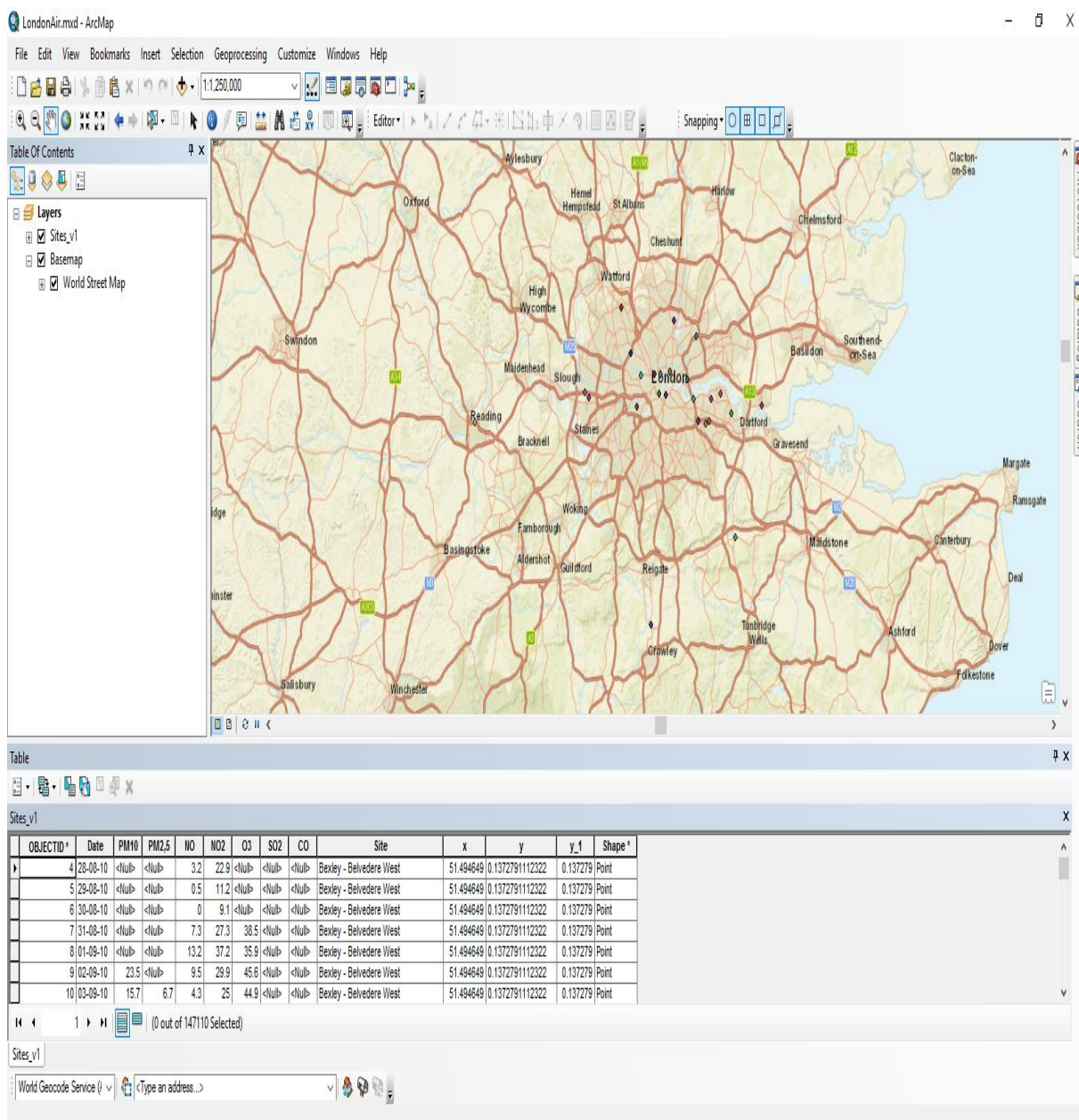
Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικά περιβάλλοντα του ArcGIS. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η 10.4.1 έπειτα από ευγενική παραχώρηση της Marathon Data Systems για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Τα δύο περιβάλλοντα αφορούν αυτό του ArcMap και του ArcGIS Pro.

3.3.1 ArcMap

Όταν αποθηκεύεται ένας χάρτης που έχει δημιουργηθεί στον ArcMap, θα αποθηκευτεί ως αρχείο στο σκληρό δίσκο. Αυτό είναι ένα αρχείο ArcMap που αναφέρεται με επέκταση ονόματος αρχείου .mxd και προσαρτάται αυτόματα στο όνομα του αρχείου του χάρτη. Μέσα στο πλαίσιο των δεδομένων, εμφανίζονται γεωγραφικά σύνολα δεδομένων ως διαφορετικά επίπεδα (Layers). Τα layers των χαρτών βοήθησαν στη μετάδοση πληροφοριών μέσω:

- Διακριτών κατηγοριών χαρακτηριστικών όπως συλλογές σημείων, γραμμών και πολυγώνων
- Χάρτη υποβάθρου που καλύπτει την έκταση του χάρτη

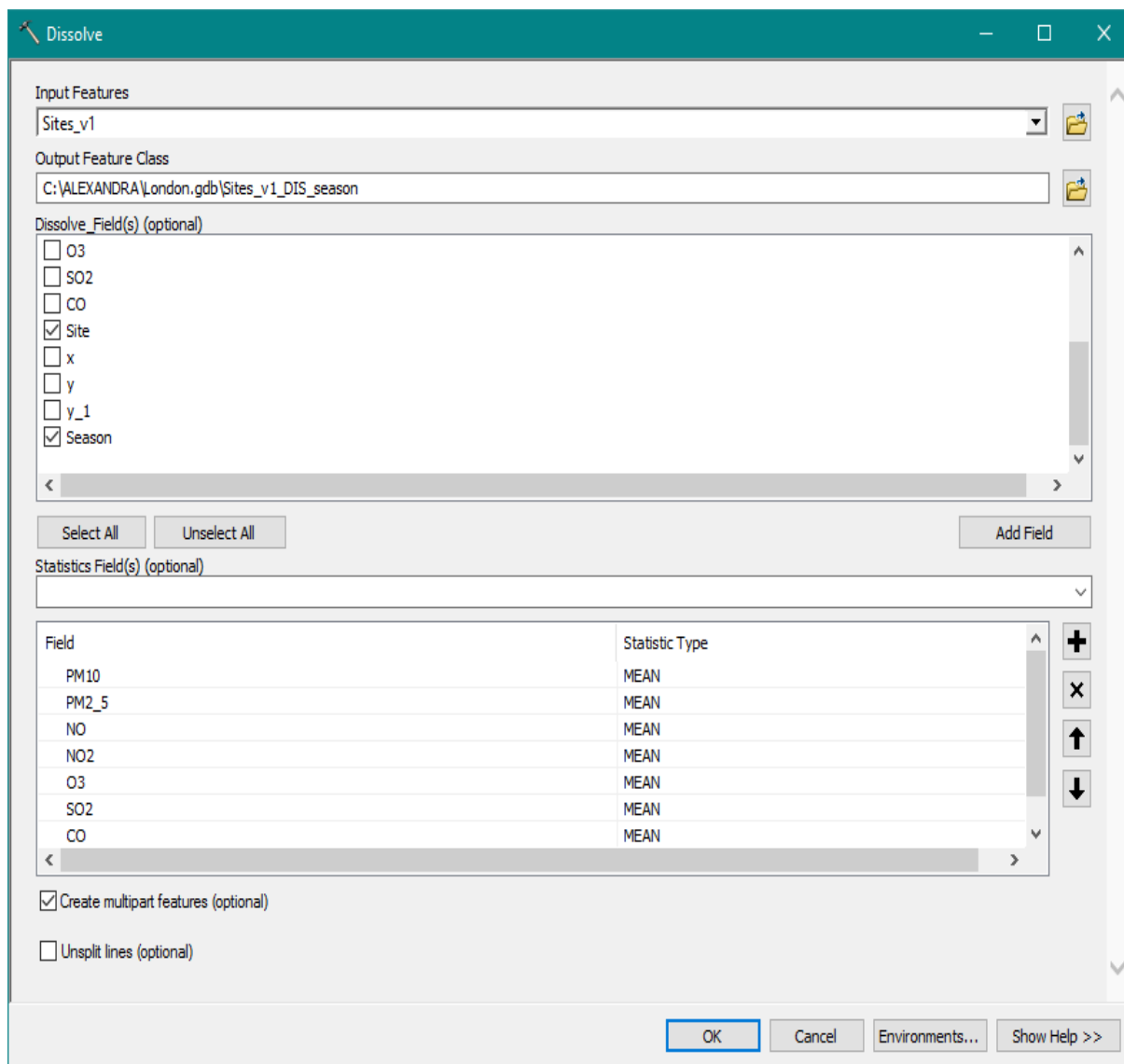
Παρακάτω φαίνεται το περιβάλλον του ArcMap όταν ξεκίνησε η προσθήκη των σταθμών στο Λονδίνο, με τα layers, τον πίνακα περιεχομένων (Table of Contents), τις εργαλειοθήκες και τον πίνακα ιδιοτήτων (Attribute Table).



Εικόνα 3.2. Το περιβάλλον του ArcMap.

Στην πορεία χρησιμοποιήθηκε η εντολή Dissolve. Η συγκεκριμένη εντολή που ανήκει σε μια από τις πολλές της γεωεπεξεργασίας (Geoprocessing) αφορά τις ιδιότητες των χαρακτηριστικών τα οποία συναθροίζονται μέσω του Dissolve και έτσι συνοψίζονται ώστε να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη ποικιλία στατιστικών στοιχείων. Το στατιστικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για την περίληψη των ιδιοτήτων προστίθεται στο Output Feature Class ως ένα μόνο πεδίο με το ακόλουθο πρότυπο ονοματοποίησης του,

στατιστικού + κάτω παύλα + όνομα πεδίου εισαγωγής. Το Dissolve μπορεί να δημιουργήσει πολύ μεγάλες δυνατότητες στο Output Feature Class. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή χρησιμοποιήθηκε ως βήμα της μεθοδολογίας ώστε να διαχωριστούν οι εποχιακές περίοδοι στον όγκο των μέσων ημερήσιων δεδομένων μέσα στα έτη, από τους σταθμούς ενδιαφέροντος, ανά ρύπο. Ως «site» αναφέρονται οι τοποθεσίες που βρίσκονται οι σταθμοί μέτρησης των ρύπων.



Εικόνα 3.3. Η διαδικασία του Dissolve.

Κατά τη χρήση του Dissolve μπορεί να προκύψουν προβλήματα επεξεργασίας ή κακής εμφάνισης εάν ο όγκος των χαρακτηριστικών είναι πολύ μεγάλος. Ακόμα ένα ζήτημα που κρίζει προσοχής είναι πως αφού έχει δημιουργηθεί ένα Output Feature Class στο μέγιστο μέγεθος σε έναν υπολογιστή, υπάρχει ρίσκο εμφάνισης εάν μεταφερθεί σε κάποιον άλλο υπολογιστή με λιγότερη διαθέσιμη μνήμη.

Μέσω του Dissolve κωδικοποιήθηκαν οι εποχιακές περίοδοι προς διαχωρισμό τους σε 0 για Χειμερινή περίοδο (Winter) και 1 για Καλοκαιρινή περίοδο (Summer). Η χειμερινή περίοδος προσδιορίστηκε να παίρνει τις τιμές του Οκτωβρίου, Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου και Μάρτη, ενώ η καλοκαιρινή περίοδος, παίρνει τις τιμές από Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβρη.

OBJECTID *	Shape *	Site	Season	MEAN_PM2_5	MEAN_PM10	MEAN_NO	MEAN_NO2	MEAN_O3	MEAN_SO2	MEAN_CO
1	Multipoint	Bexley - Belvedere West	0	9.23703	20.539495	13.737685	28.086852	35.756961	<Null>	<Null>
2	Multipoint	Bexley - Belvedere West	1	8.244364	17.963832	3.800461	19.457749	49.639872	<Null>	<Null>
3	Multipoint	Bexley - Slade Green	0	11.998527	22.593742	27.215854	38.614629	30.598392	6.87402	0.428092
4	Multipoint	Bexley - Slade Green	1	10.969799	21.77917	9.201217	29.474441	47.233568	6.977938	0.280994
5	Multipoint	Brent - Ikea	0	15.330223	36.030079	145.98505	74.166314	14.336307	4.325669	<Null>
6	Multipoint	Brent - Ikea	1	13.972416	31.07277	103.195522	69.338137	20.866167	4.310165	<Null>
7	Multipoint	Camden - Bloomsbury	0	13.85045	27.439179	45.499821	61.673565	17.427447	9.052436	0.618457
8	Multipoint	Camden - Bloomsbury	1	13.681282	26.001694	21.543601	54.051295	30.813715	5.981999	0.429255
9	Multipoint	Greenwich - Etham	0	15.198279	23.347529	21.079142	34.45131	30.31734	6.243322	<Null>
10	Multipoint	Greenwich - Etham	1	13.12765	22.287869	6.702694	25.055685	45.655224	5.818864	<Null>
11	Multipoint	Greenwich - Plumstead High Street	0	17.478884	22.235924	35.726885	45.499683	29.465127	<Null>	<Null>
12	Multipoint	Greenwich - Plumstead High Street	1	13.931619	19.049735	18.493157	34.919548	42.04296	<Null>	<Null>
13	Multipoint	Greenwich - Westhorne Avenue	0	17.646827	25.580077	49.681993	47.252128	26.998964	<Null>	<Null>
14	Multipoint	Greenwich - Westhorne Avenue	1	14.487657	21.325983	27.204715	40.079862	36.919308	<Null>	<Null>
15	Multipoint	Greenwich - Woolwich Flyover	0	17.204726	37.038082	115.183162	77.012999	16.136025	<Null>	<Null>
16	Multipoint	Greenwich - Woolwich Flyover	1	15.680274	32.785853	80.575362	65.992636	24.795599	<Null>	<Null>
17	Multipoint	Greenwich and Bexley - Falconwood	0	14.139664	26.888828	58.407816	49.778206	28.420904	<Null>	<Null>
18	Multipoint	Greenwich and Bexley - Falconwood	1	13.691819	25.242857	40.992373	42.68816	41.145417	<Null>	<Null>
19	Multipoint	Hackney - Old Street	0	13.516587	29.144431	64.547926	67.87709	16.767477	<Null>	<Null>
20	Multipoint	Hackney - Old Street	1	14.23668	26.924452	45.508285	59.216126	30.830372	<Null>	<Null>
21	Multipoint	Haringey - Haringey Town Hall	0	18.516829	28.553567	54.631264	49.966676	<Null>	7.42695	<Null>
22	Multipoint	Haringey - Haringey Town Hall	1	14.953363	25.976667	28.290904	41.664554	<Null>	5.506039	<Null>
23	Multipoint	Harrow - Stanmore	0	14.090367	19.757261	15.9	33.178973	<Null>	3.749568	<Null>
24	Multipoint	Harrow - Stanmore	1	11.561821	18.179668	4.331303	21.198488	<Null>	2.929326	<Null>
25	Multipoint	Hillingdon - Harlington	0	14.669641	21.381598	26.634195	40.803598	27.683364	<Null>	0.405648
26	Multipoint	Hillingdon - Harlington	1	10.685565	18.327638	10.495662	30.10064	42.412335	<Null>	0.267723
27	Multipoint	Hillingdon - Keats Way	0	<Null>	27.24854	62.109466	54.621284	20.482697	7.541492	0.71313
28	Multipoint	Hillingdon - Keats Way	1	<Null>	25.862338	35.113706	47.456611	31.321042	6.551025	0.49413
29	Multipoint	Kensington and Chelsea - North Ken	0	16.002584	24.033904	28.141957	45.455089	25.923113	5.525399	0.469202
30	Multipoint	Kensington and Chelsea - North Ken	1	11.854228	22.487724	8.457776	34.026031	44.528979	4.184264	0.315387
31	Multipoint	Reading - New Town	0	12.084401	18.086263	17.362085	30.060194	34.982952	6.18949	0.357418
32	Multipoint	Reading - New Town	1	8.939746	14.675057	4.721676	19.026424	48.151231	5.253173	0.230577
33	Multipoint	Redbridge - Gardner Close	0	17.099059	29.63787	46.795657	51.681963	<Null>	6.771306	0.674405
34	Multipoint	Redbridge - Gardner Close	1	14.476905	26.255424	25.244419	42.172224	<Null>	5.275332	0.529124
35	Multipoint	Reigate and Banstead - Horley	0	<Null>	21.68905	16.052676	30.837462	27.540741	<Null>	<Null>
36	Multipoint	Reigate and Banstead - Horley	1	<Null>	19.839728	5.807566	22.169447	49.422785	<Null>	<Null>
37	Multipoint	Richmond Upon Thames - Barnes Wetlands	0	<Null>	20.68908	15.625184	34.016765	33.453258	<Null>	<Null>
38	Multipoint	Richmond Upon Thames - Barnes Wetlands	1	<Null>	19.586661	4.384673	22.818168	50.572227	<Null>	<Null>
39	Multipoint	Sevenoaks - Greatness Park	0	<Null>	20.542995	13.105729	25.124267	39.53865	3.205993	0.228851
40	Multipoint	Sevenoaks - Greatness Park	1	<Null>	20.583223	4.897707	16.996492	54.072367	2.881161	0.115566
41	Multipoint	Southwark - Elephant and Castle	0	<Null>	20.199658	25.605795	41.254139	24.501431	<Null>	<Null>
42	Multipoint	Southwark - Elephant and Castle	1	<Null>	20.361955	14.182292	38.026786	36.60976	<Null>	<Null>
43	Multipoint	Thurrock - London Road (Grays)	0	<Null>	23.58549	26.46014	36.577709	29.952705	5.492442	0.47671
44	Multipoint	Thurrock - London Road (Grays)	1	<Null>	22.007941	9.416075	28.305059	45.898021	4.425922	0.273527
45	Multipoint	Tower Hamlets - Blackwall	0	18.279048	32.12799	73.611915	67.301719	20.713951	<Null>	<Null>
46	Multipoint	Tower Hamlets - Blackwall	1	15.35684	26.41798	48.780594	57.561694	31.969994	<Null>	<Null>
47	Multipoint	Westminster - Horseferry Road	0	<Null>	19.847253	30.145909	49.574622	24.911076	4.067355	0.431852
48	Multipoint	Westminster - Horseferry Road	1	<Null>	16.847516	11.063844	37.497637	41.8112	3.31338	0.281619
49	Multipoint	Westminster - Marylebone Road	0	19.802686	40.239861	164.279359	98.502136	11.237174	10.352955	1.200906
50	Multipoint	Westminster - Marylebone Road	1	19.367938	38.001594	126.467415	95.546315	18.934851	9.006222	1.065858

Εικόνα 3.4. Ο πίνακας ιδιοτήτων με όλες τις μέσες τιμές ανά εποχιακή περίοδο σε κάθε σταθμό.

Table - Sites_v1_SUMMER										
Sites_v1_WINTER										
OBJECTID*	Shape*	Site	Season	MEAN_PM2_5	MEAN_PM10	MEAN_NO	MEAN_NO2	MEAN_O3	MEAN_SO2	MEAN_CO
1	Multipoint	Bexley - Belvedere West	0	9.23703	20.539495	13.737685	28.086852	35.756961	<Null>	<Null>
2	Multipoint	Bexley - Slade Green	0	11.998527	22.593742	27.215054	38.614629	30.598392	6.87402	0.428092
3	Multipoint	Brent - Ikea	0	15.330223	36.030079	145.98505	74.166314	14.336307	4.325669	<Null>
4	Multipoint	Camden - Bloomsbury	0	13.85045	27.439179	45.499821	61.673565	17.427447	9.052436	0.618457
5	Multipoint	Greenwich - Etham	0	15.198279	23.347529	21.079142	34.45131	30.31734	6.243322	<Null>
6	Multipoint	Greenwich - Plumstead High Street	0	17.478884	22.235924	35.726885	45.499683	29.465127	<Null>	<Null>
7	Multipoint	Greenwich - Westhorne Avenue	0	17.646827	25.580077	49.681993	47.252128	26.998964	<Null>	<Null>
8	Multipoint	Greenwich - Woolwich Flyover	0	17.204726	37.038082	115.183162	77.012999	16.136025	<Null>	<Null>
9	Multipoint	Greenwich and Bexley - Falconwood	0	14.139664	26.888828	58.407816	49.778206	28.420904	<Null>	<Null>
10	Multipoint	Hackney - Old Street	0	13.516587	29.144431	64.547926	67.87709	16.767477	<Null>	<Null>
11	Multipoint	Haringey - Haringey Town Hall	0	18.516829	28.553567	54.631264	49.966676	<Null>	7.42695	<Null>
12	Multipoint	Harrow - Stanmore	0	14.090367	19.757261	15.9	33.178973	<Null>	3.749568	<Null>
13	Multipoint	Hillingdon - Harlington	0	14.669641	21.381598	26.634195	40.803598	27.683364	<Null>	0.405648
14	Multipoint	Hillingdon - Keats Way	0	<Null>	27.24854	62.109466	54.621284	20.482697	7.541492	0.71313
15	Multipoint	Kensington and Chelsea - North Ken	0	16.002584	24.033904	28.141957	45.455069	25.923113	5.525399	0.469202
16	Multipoint	Reading - New Town	0	12.084401	18.086263	17.362085	30.060194	34.982952	6.18949	0.357418
17	Multipoint	Redbridge - Gardner Close	0	17.089059	29.63787	46.795657	51.681963	<Null>	6.771306	0.674405
18	Multipoint	Reigate and Banstead - Horley	0	<Null>	21.68905	16.052676	30.837462	27.540741	<Null>	<Null>
19	Multipoint	Richmond Upon Thames - Barnes Wetlands	0	<Null>	20.68908	15.625184	34.016785	33.453258	<Null>	<Null>
20	Multipoint	Sevenoaks - Greatness Park	0	<Null>	20.542995	13.105729	25.124267	39.53865	3.205993	0.228851
21	Multipoint	Southwark - Elephant and Castle	0	<Null>	20.199658	25.605795	41.254139	24.501431	<Null>	<Null>
22	Multipoint	Thurrock - London Road (Grays)	0	<Null>	23.58549	26.46014	36.577709	29.952705	5.492442	0.47671
23	Multipoint	Tower Hamlets - Blackwall	0	18.279048	32.12799	73.611915	67.301719	20.713951	<Null>	<Null>

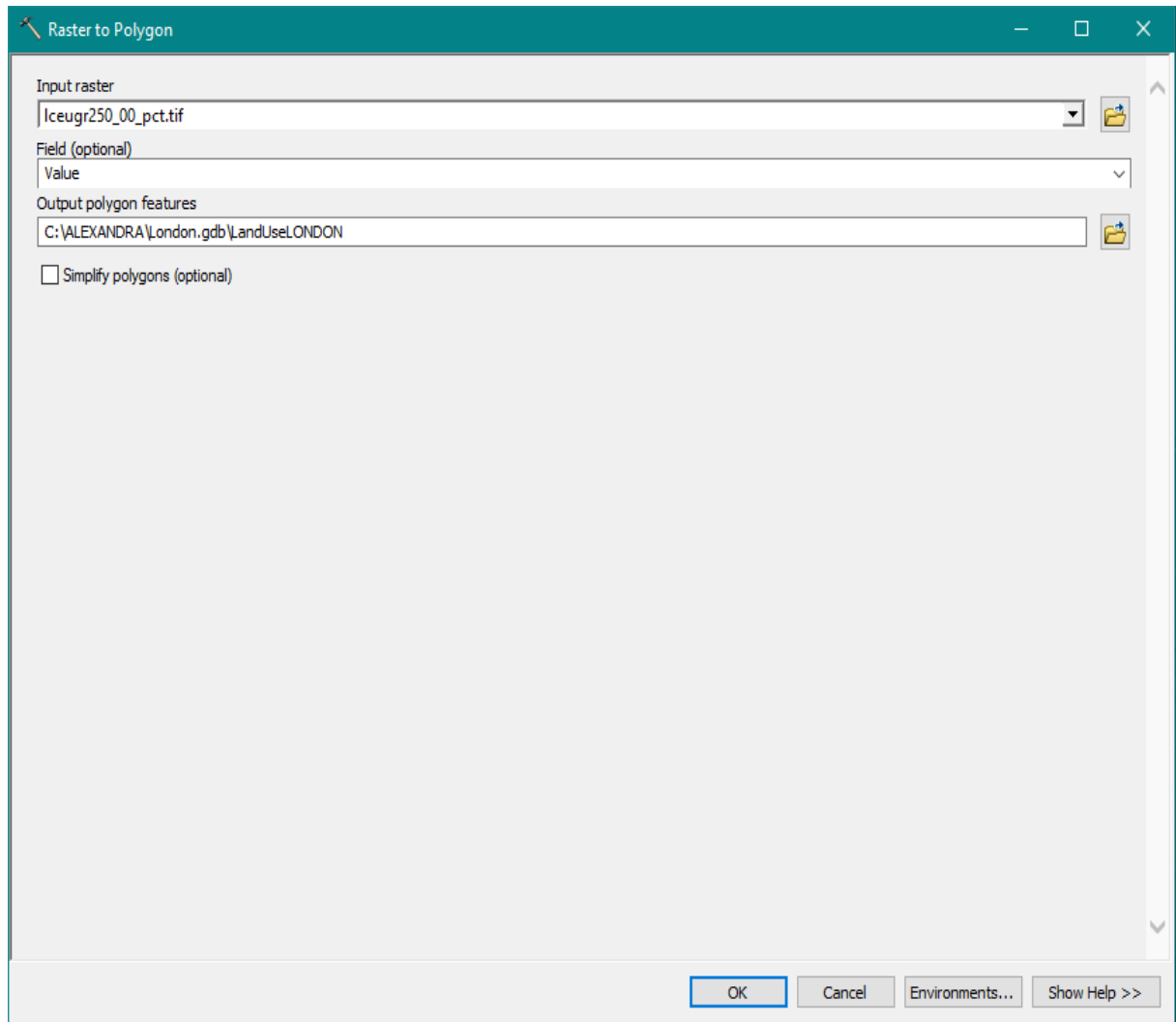
(0 out of 25 Selected)

Sites_v1_SUMMER										
OBJECTID*	Shape*	Site	Season	MEAN_PM2_5	MEAN_PM10	MEAN_NO	MEAN_NO2	MEAN_O3	MEAN_SO2	MEAN_CO
1	Multipoint	Bexley - Belvedere West	1	8.244364	17.963832	3.800461	19.457749	49.639872	<Null>	<Null>
2	Multipoint	Bexley - Slade Green	1	10.969799	21.77917	9.201217	29.474441	47.233568	6.977938	0.280994
3	Multipoint	Brent - Ikea	1	13.972416	31.07277	103.195522	69.338137	20.866167	4.310165	<Null>
4	Multipoint	Camden - Bloomsbury	1	13.681282	26.001694	21.543601	54.051295	30.813715	5.981999	0.429255
5	Multipoint	Greenwich - Etham	1	13.12765	22.287869	6.702694	25.055685	45.655224	5.818664	<Null>
6	Multipoint	Greenwich - Plumstead High Street	1	13.931619	19.049735	18.493157	34.919548	42.04296	<Null>	<Null>
7	Multipoint	Greenwich - Westhorne Avenue	1	14.487657	21.325983	27.204715	40.079862	36.919308	<Null>	<Null>
8	Multipoint	Greenwich - Woolwich Flyover	1	15.680274	32.785853	80.575362	65.992636	24.795599	<Null>	<Null>
9	Multipoint	Greenwich and Bexley - Falconwood	1	13.691819	25.242857	40.992373	42.68816	41.145417	<Null>	<Null>
10	Multipoint	Hackney - Old Street	1	14.23668	26.924452	45.508285	59.216126	30.830372	<Null>	<Null>
11	Multipoint	Haringey - Haringey Town Hall	1	14.953363	25.976667	28.290904	41.664554	<Null>	5.506039	<Null>
12	Multipoint	Harrow - Stanmore	1	11.561821	18.179668	4.331303	21.198488	<Null>	2.929326	<Null>
13	Multipoint	Hillingdon - Harlington	1	10.685565	18.327638	10.495662	30.10064	42.412335	<Null>	0.267723
14	Multipoint	Hillingdon - Keats Way	1	<Null>	25.862338	35.113706	47.456611	31.321042	6.551025	0.49413
15	Multipoint	Kensington and Chelsea - North Ken	1	11.854228	22.487724	8.457776	34.026031	44.528979	4.184264	0.315387
16	Multipoint	Reading - New Town	1	8.939746	14.675057	4.721676	19.026424	48.151231	5.253173	0.230577
17	Multipoint	Redbridge - Gardner Close	1	14.476905	26.255424	25.244419	42.172224	<Null>	5.275332	0.529124
18	Multipoint	Reigate and Banstead - Horley	1	<Null>	19.839728	5.807566	22.169447	49.422785	<Null>	<Null>
19	Multipoint	Richmond Upon Thames - Barnes Wetlands	1	<Null>	19.506661	4.384673	22.818168	50.572227	<Null>	<Null>
20	Multipoint	Sevenoaks - Greatness Park	1	<Null>	20.583223	4.897707	16.996492	54.072367	2.881161	0.115566
21	Multipoint	Southwark - Elephant and Castle	1	<Null>	20.361955	14.182292	38.026786	36.60976	<Null>	<Null>
22	Multipoint	Thurrock - London Road (Grays)	1	<Null>	22.007941	9.416075	28.305059	45.898021	4.425922	0.273527
23	Multipoint	Tower Hamlets - Blackwall	1	15.35684	26.41798	48.780594	57.561694	31.969994	<Null>	<Null>

(0 out of 25 Selected)

Εικόνα 3.5. Ο τελικός πίνακας διαχωρισμού Χειμώνα και Καλοκαίρι ανά σταθμό.

Στη συνέχεια εισήχθησαν στο λογισμικό οι πληροφορίες για τις χρήσεις γης του Corine ώστε να πάρουν θέση υποβάθρου για συμπερασματικές αναλύσεις και πληρότητα πληροφορίας. Λόγω του ότι η αρχική πληροφορία αφορούσε πλεγματοειδές αρχείο (Raster) επιλέχθηκε η μετατροπή σε διανυσματική μορφή πολυγώνου ώστε να τοποθετηθούν τα σημεία των σταθμών και να φανούν τα όρια των οικισμών στο Λονδίνο. Για αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε η εντολή «Raster to Polygon».

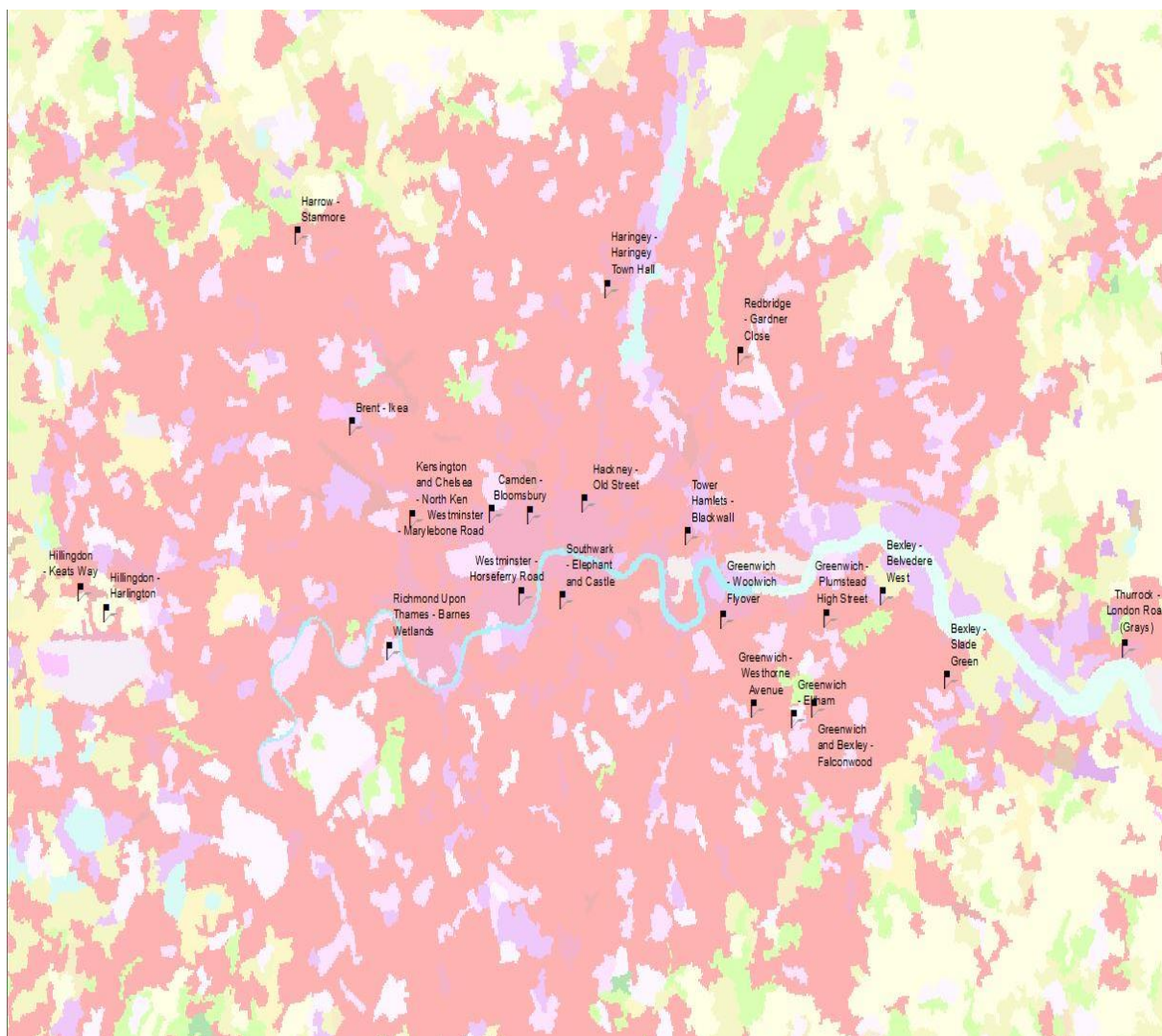


Εικόνα 3.6. Η εντολή Raster to Polygon για τις χρήσεις γης στο Λονδίνο.

Μετά την εφαρμογή της τελευταίας εντολής ήταν πλέον εφικτό να επεξεργαστεί το αρχείο των χρήσεων γης ώστε να είναι ευκρινές τι είδη χρήσεων αφορούν την περιοχή ενδιαφέροντος. Στο λογισμικό προστέθηκε και το αρχείο οδηγός, τύπου Excel, το οποίο σε συνδυασμό με το υπόβαθρο του Corine, έδινε την πλήρη πληροφορία διαχωρισμού.

	A	B	C	D	E	F
1	GRID_CODE	CLC_CODE	LABEL1	LABEL2	LABEL3	RGB
2		1'111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	230-000-077
3		2'112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-000-000
4		3'121	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units	204-077-242
5		4'122	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Road and rail networks and associated land	204-000-000
6		5'123	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Port areas	230-204-204
7		6'124	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Airports	230-204-230
8		7'131	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Mineral extraction sites	166-000-204
9		8'132	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Dump sites	166-077-000
10		9'133	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Construction sites	255-077-255
11		10'141	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Green urban areas	255-166-255
12		11'142	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Sport and leisure facilities	255-230-255
13		12'211	Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	255-255-168
14		13'212	Agricultural areas	Arable land	Permanently irrigated land	255-255-000
15		14'213	Agricultural areas	Arable land	Rice fields	230-230-000
16		15'221	Agricultural areas	Permanent crops	Vineyards	230-128-000
17		16'222	Agricultural areas	Permanent crops	Fruit trees and berry plantations	242-166-077
18		17'223	Agricultural areas	Permanent crops	Olive groves	230-166-000
19		18'231	Agricultural areas	Pastures	Pastures	230-230-077
20		19'241	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Annual crops associated with permanent crops	255-230-166
21		20'242	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Complex cultivation patterns	255-230-077
22		21'243	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	230-204-077
23		22'244	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Agro-forestry areas	242-204-166
24		23'311	Forest and semi natural areas	Forests	Broad-leaved forest	128-255-000
25		24'312	Forest and semi natural areas	Forests	Coniferous forest	000-166-000
26		25'313	Forest and semi natural areas	Forests	Mixed forest	077-255-000
27		26'321	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands	204-242-077
28		27'322	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Moors and heathland	166-255-128
29		28'323	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Sclerophyllous vegetation	166-230-077
30		29'324	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Transitional woodland-shrub	166-242-000
31		30'331	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Beaches, dunes, sands	230-230-230
32		31'332	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Bare rocks	204-204-204
33		32'333	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Sparsely vegetated areas	204-255-204
34		33'334	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Burnt areas	000-000-000
35		34'335	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Glaciers and perpetual snow	166-230-204
36		35'411	Wetlands	Inland wetlands	Inland marshes	166-166-255
37		36'412	Wetlands	Inland wetlands	Coastal wetlands	077-077-255

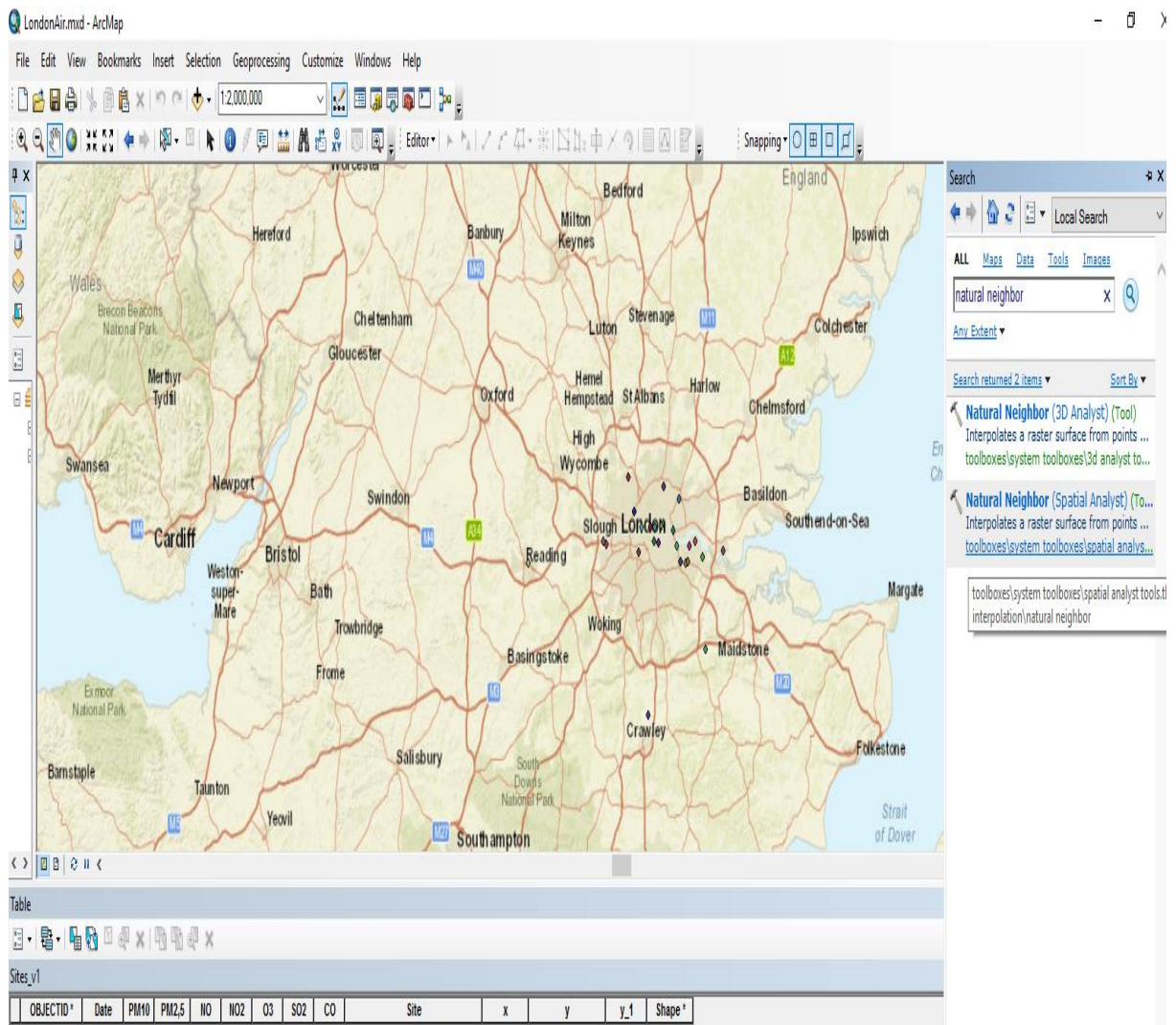
Εικόνα 3.7. Μέρος από το υπομνηματικό αρχείο Excel.



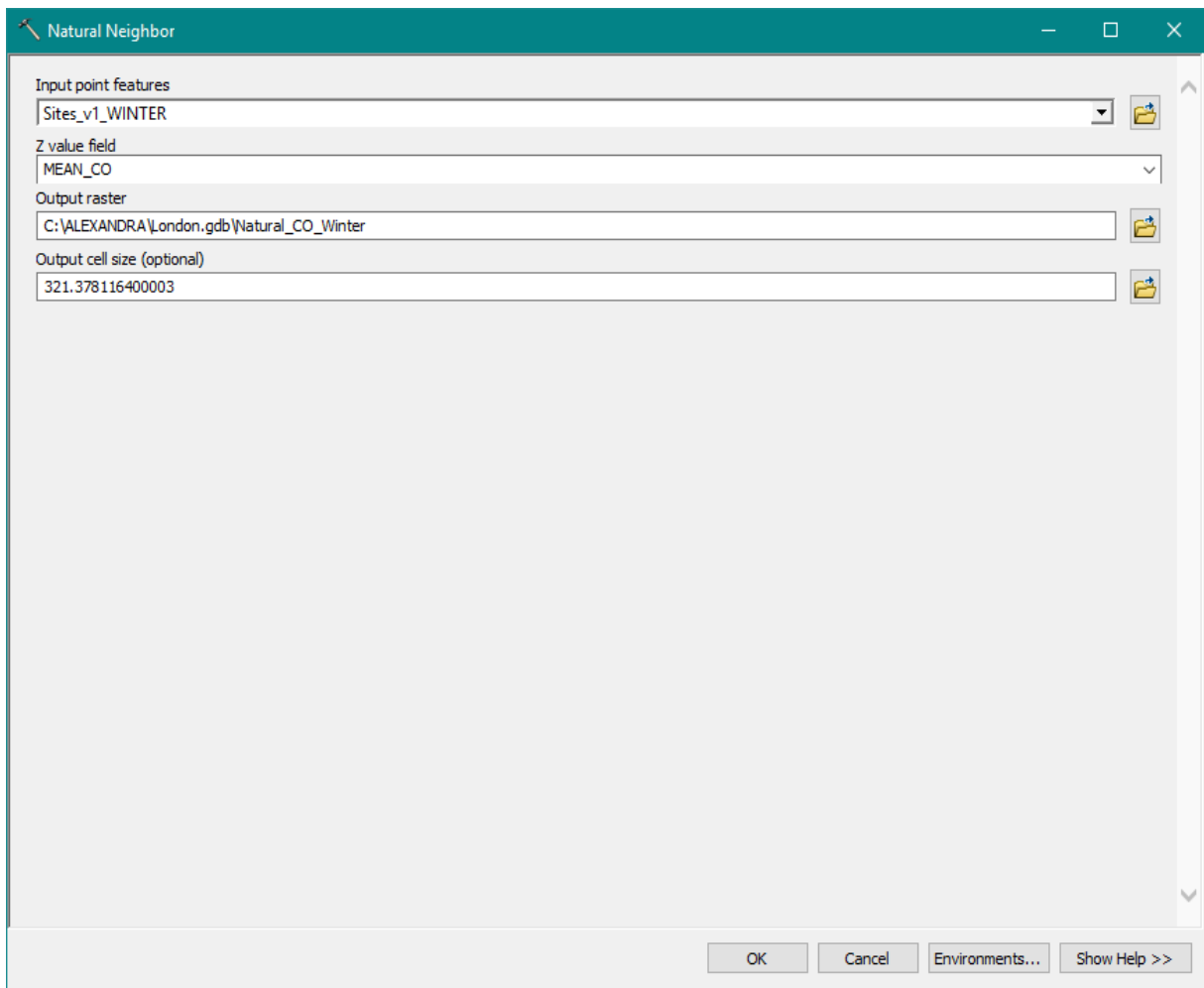
Εικόνα 3.8. Οι σταθμοί και το υπόβαθρο χρήσεων γης προς επεξεργασία.

Κατά το επόμενο βήμα πραγματοποιήθηκε χωρική ανάλυση. Η χωρική ανάλυση αφορά το πως γίνεται κατανοητός ο χάρτης με τα δεδομένα που έχουν επιλεγεί, πως συνδέονται, τι σημαίνουν και ποιες ενέργειες πρέπει να συνεχιστούν. Η χωρική ανάλυση είναι κατά κάποιον τρόπο η «καρδιά» της τεχνολογίας των GIS. Για να δημιουργηθεί ένα πλέγμα επιφάνειας στο ArcGis, η επέκταση Spatial Analyst μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορα εργαλεία που ανήκουν στον κλάδο του «Interpolation». Το Interpolation, είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των τιμών των κελιών του πλέγματος σε θέσεις που δεν διαθέτουν σημεία δειγματοληψίας. Βασίζεται στην αρχή της χωρικής αυτοσυσχέτισης ή της χωρικής εξάρτησης, η οποία μετρά το βαθμό σχέσης / εξάρτησης μεταξύ κοντινών και μακρινών αντικειμένων. Η χωρική αυτοσυσχέτιση (Spatial Autocorrelation), καθορίζει το εάν οι τιμές αλληλοσυνδέονται. Εάν οι τιμές αλληλοσυνδέονται όντως, τότε καθορίζει εάν υπάρχει χωρικό μοτίβο.

Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή το εργαλείο που επιλέχθηκε ως καταλληλότερο είναι αυτό της φυσικής παρεμβολής γειτόνων (Natural Neighbor). Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από τη μέθοδο βρίσκει το πλησιέστερο υποσύνολο δειγμάτων εισόδου, σε ένα σημείο ερωτήματος και εφαρμόζει βαρύτητα σε αυτό με βάση τις αναλογικές περιοχές για παρεμβολή μιας τιμής (Sibson, 1981). Σαν μέθοδος είναι επίσης γνωστή ως παρεμβολή Sibson ή «κλοπή περιοχής». Μέσω της χωρικής παρεμβολής (Spatial Interpolation) πραγματοποιείται μια γεω-στατιστική ανάλυση. Η χωρική παρεμβολή χρησιμοποιείται κατ' εξοχήν σε περιπτώσεις όπως η συγκεκριμένη που ενώ διατίθενται σημεία δειγματοληψίας με μετρήσεις ρύπων δεν είναι δυνατή η παρακολούθηση σε όλα τα σημεία του Λονδίνου. Έτσι με βάση τις μετρήσεις που διατίθενται από τους υπάρχοντες σταθμούς δημιουργείται μια συνεχής επιφάνεια που προβλέπει τις τιμές μεταξύ των γνωστών στοιχείων. Το εργαλείο Natural Neighbor, βασίζεται σε χωρική αυτοσυσχέτιση, η οποία ουσιαστικά είναι η υπόθεση ότι εάν διαθέτουμε χωρικά χαρακτηριστικά που το ένα είναι κοντά στο άλλο, τα κοντινά θα έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά από εκείνα που βρίσκονται μακρύτερα. Η συνεχής αυτή επιφάνεια περνάει μέσα από τα δείγματα εισόδου και είναι ομαλή παντού, εκτός από τις θέσεις των δειγμάτων εισόδου. Η έκδοση 10.4.1 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, δίνει δύο επιλογές στο εργαλείο του Natural Neighbor. Η μια επιλογή σχετίζεται με τη δυνατότητα 3D απεικόνισης και η άλλη με Spatial Analysis. Επειδή η τρισδιάστατη απεικόνιση κρίθηκε πως δε θα προσφέρει κάτι πρόσθετο και στην πορεία της μεταπτυχιακής διατριβής θα πραγματοποιηθεί σε άλλο στάδιο τρισδιάστατη λειτουργία επιλέχθηκε η επιλογή του Spatial Analysis. Το εργαλείο εφαρμόστηκε σε κάθε ρύπο ξεχωριστά για τις διαχωρισμένες εποχιακές περιόδους, της χειμερινής και της καλοκαίρινης.

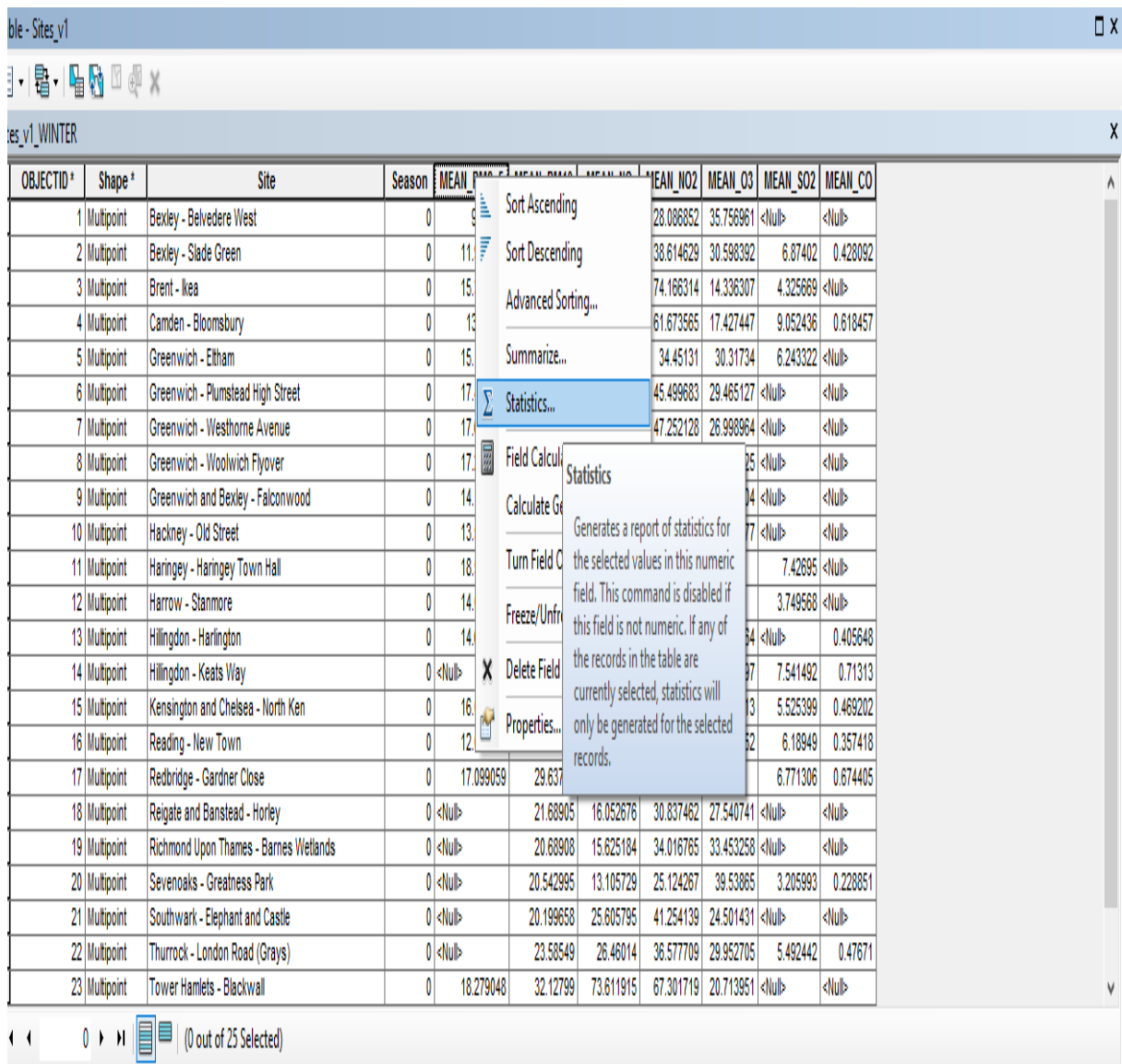


Εικόνα 3.9. Το εργαλείο του Natural Neighbor στο Search του λογισμικού.



Εικόνα 3.10. Η εφαρμογή του εργαλείου Natural Neighbor στις μετρήσεις του άνθρακα για την χειμερινή εποχιακή περίοδο.

Τελευταία εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του ArcMap είναι τα «Statistics». Μέσω της συγκεκριμένης, απλής εφαρμογής, δόθηκε η δυνατότητα άμεσης στατιστικής πληροφορίας στην πιο απλή μορφή της. Η εργαλειοθήκη των στατιστικών στοιχείων περιλαμβάνει εργαλεία που εκτελούν τυπικές στατιστικές αναλύσεις όπως για παράδειγμα μέση, ελάχιστη, μέγιστη τιμή καθώς και τυπική απόκλιση. Κατά τη μελέτη των δεδομένων, ελήφθησαν στατιστικά στοιχεία που περιγράφουν τις τιμές σε αριθμητικές στήλες. Επίσης με αυτή τη μέθοδο επετεύχθη η παραγωγή ιστογράμματος που απεικονίζει τον τρόπο κατανομής των τιμών της στήλης. Οι στατιστικές υπολογίστηκαν για όλες τις αριθμητικές στήλες.



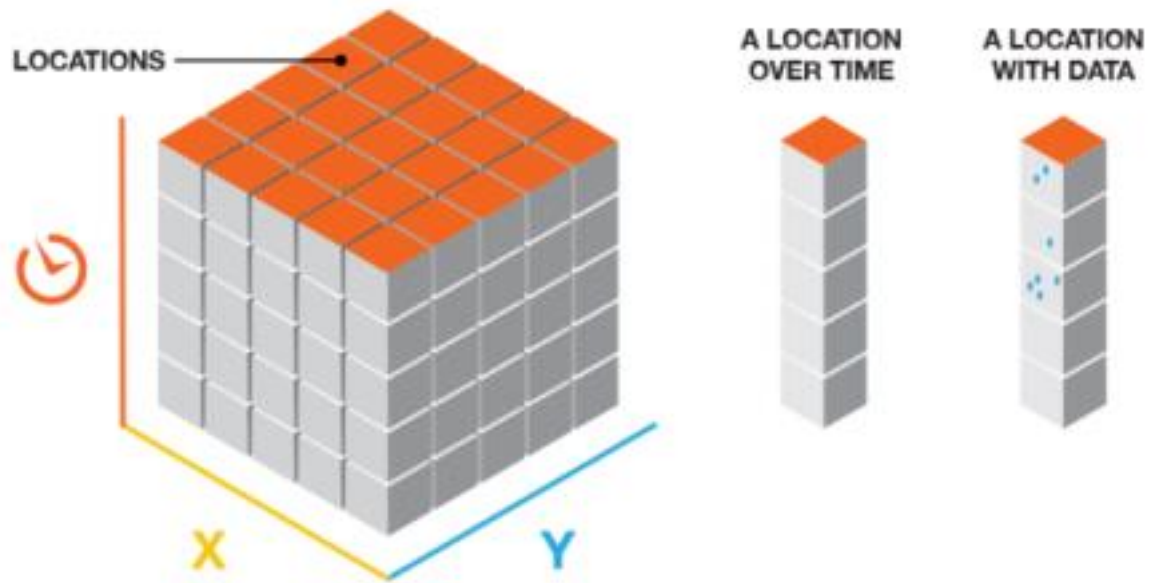
Εικόνα 3.11. Εφαρμογή της λειτουργίας των Statistics.

3.3.2 ArcGis Pro

Το ArcGis Pro της ESRI είναι μια επανεγκατάσταση του desktop GIS και έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να ανταποκριθεί στις πιο σύγχρονες απαιτήσεις του ερευνητικού και επαγγελματικού τομέα. Είναι μια εφαρμογή που εκμεταλλεύεται τα δεδομένα με σκοπό τη μέγιστη απόδοση, την ομαλή αλλά και τρισδιάστατη απεικόνιση. Το ArcGis Pro λειτουργεί σε απόλυτη συμφωνία και αρμονία με τον ArcMap και έτσι δε χρειάζεται να γίνει η επιλογή του ενός περιβάλλοντος αντί του άλλου. Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή «Space Time Cube» σε περιβάλλον ArcGis Pro καθώς στην πορεία της πραγματοποίησης αποδείχθηκε ότι εκεί τα δεδομένα επεξεργάζοντουσαν με μεγαλύτερες ταχύτητες και ευκολίες αν και η ίδια

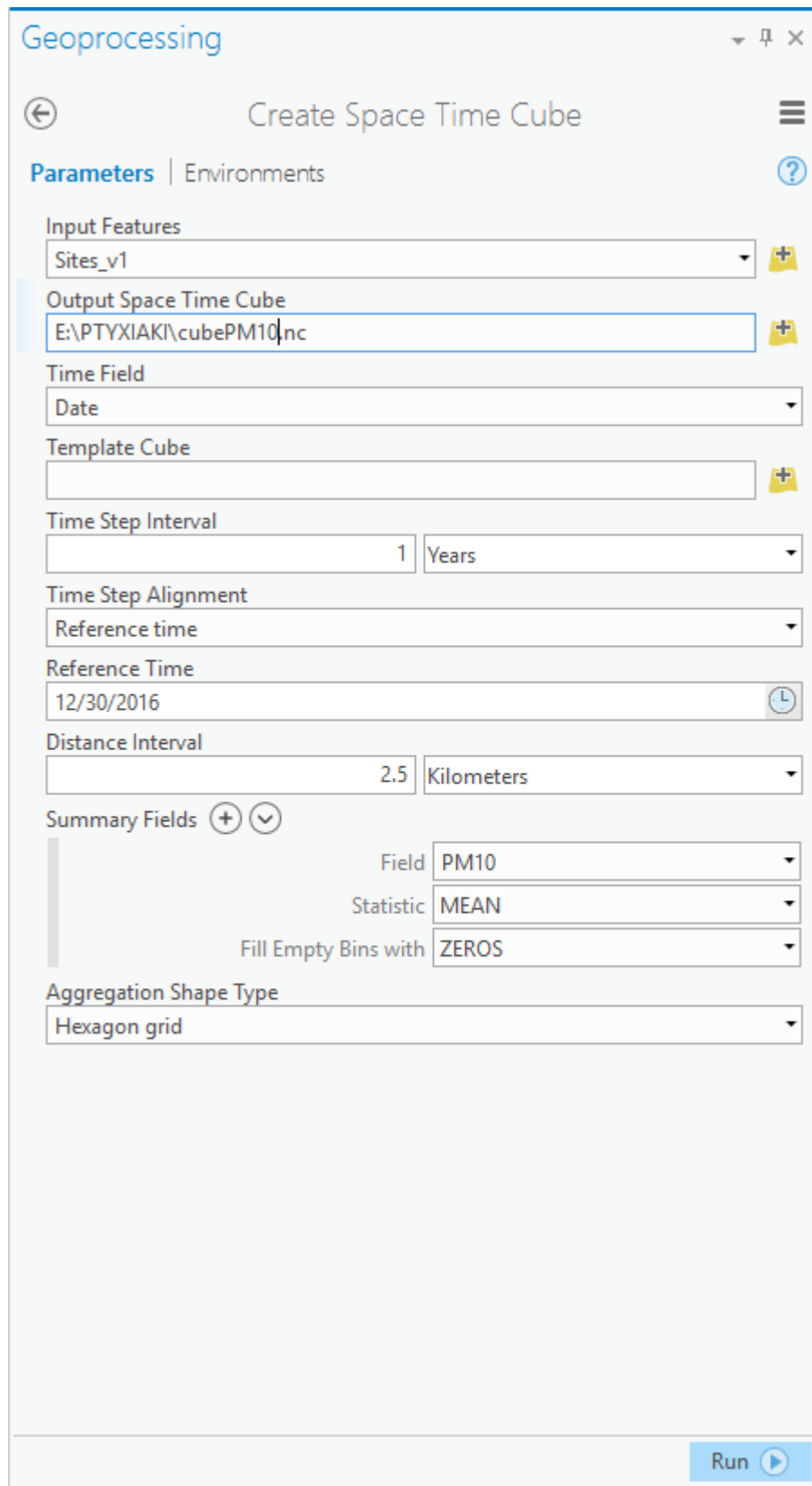
εφαρμογή μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω ArcMap. Ο ArcMap αν και χάρει μεγαλύτερης εξοικείωσης με το περιβάλλον του, καθώς δεν είναι τόσο καινούριο περιβάλλον όσο του ArcGIS Pro, δυσκολευόταν πολύ να καταφέρει να σηκώσει σε 3 διαστάσεις με αποτέλεσμα να κάνει τη διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα. Εν αντιθέσει το ArcGIS Pro το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για παραγωγή τρισδιάστατης απεικόνισης διευκόλυνε κατά πολύ τη διαδικασία.

Η διαδικασία της χωροχρονικής ανάλυσης με την εφαρμογή του Space Time Cube, συγκεντρώνει ένα σύνολο σημείων σε μια δομή δεδομένων netCDF συγκεντρώνοντάς τα σε χωροχρονικούς κάδους. Τα netCDF λειτουργεί σαν ένα σύνολο βιβλιοθηκών λογισμικών και ανεξάρτητων μορφών δεδομένων που υποστηρίζουν τη δημιουργία, την πρόσβαση και την κοινή χρήση επιστημονικών δεδομένων προσανατολισμένων προς τη συστοιχία. Μέσω της εφαρμογής του Space Time Cube πραγματοποιείται η συγκέντρωση των λειτουργιών των εισαγόμενων σημείων σε κάδους χώρου και χρόνου. Η δομή των δεδομένων που δημιουργείται μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρισδιάστατος κύβος που αποτελείται από κάδους χωροχρόνου με τις διαστάσεις x και y να αντιπροσωπεύουν τον χώρο και τη διάσταση t να αντιπροσωπεύει το χρόνο. Κάθε κάδος έχει σταθερή θέση στο χώρο (x, y) και στο χρόνο (t) . Οι κάδοι που καλύπτουν την ίδια περιοχή (x, y) μοιράζονται το ίδιο αναγνωριστικό τοποθεσίας (ID). Επειδή ο κύβος είναι πάντα ορθογώνιος, ακόμα και αν τα δεδομένα των σημείων δεν είναι, ορισμένες τοποθεσίες παίρνουν σημειακό αριθμό μηδέν για όλα τα βήματα του χρόνου. Στην ανάλυση θα περιληφθούν μόνο τοποθεσίες με δεδομένα που μετράνε τουλάχιστον ένα σημείο για περισσότερο από ένα τουλάχιστον χρονικό βήμα.



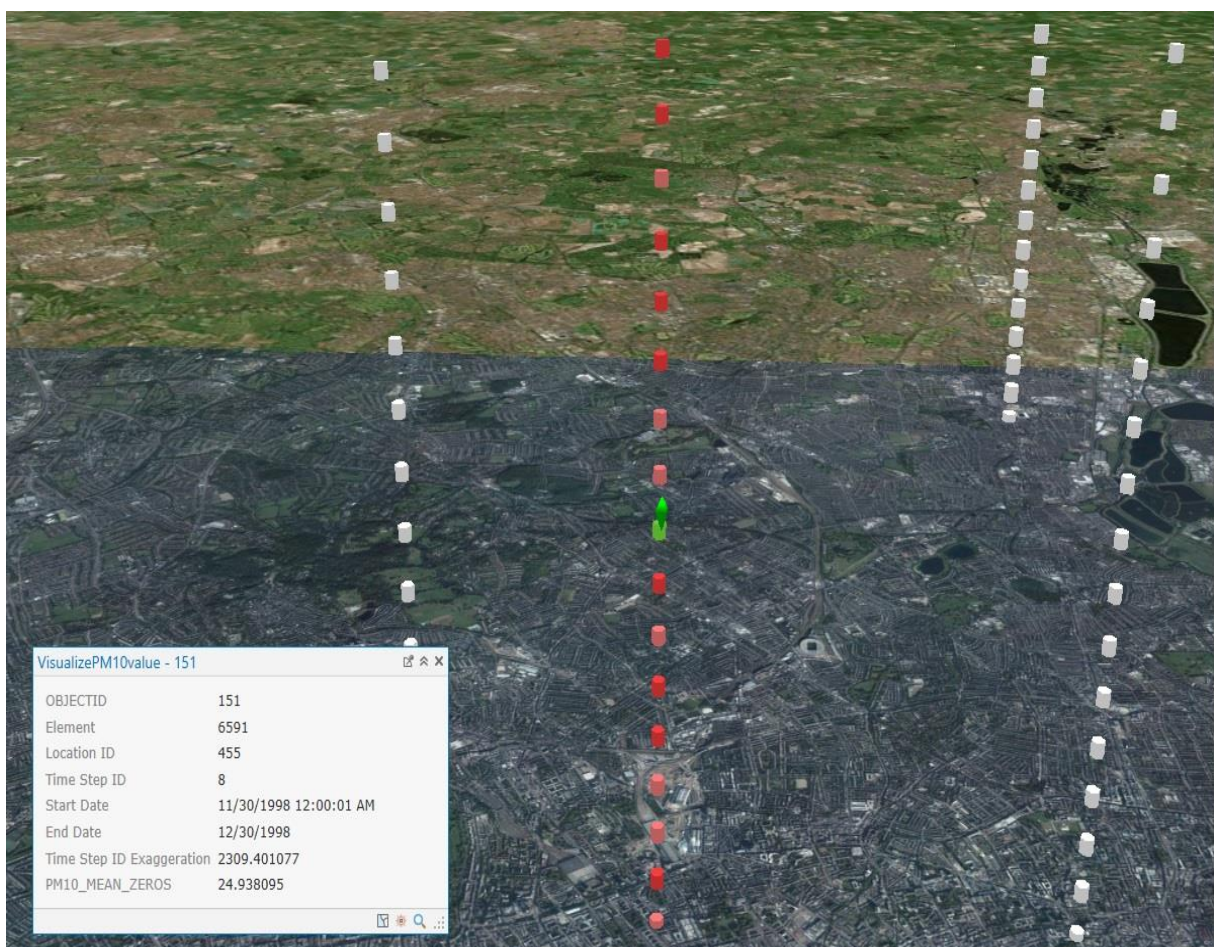
Εικόνα 3.12. Αναπαράσταση του κύβου Space Time. Πηγή: (Esri, 2016)

Προς ορισμό ορισμένων λέξεων που στοιχειοθετούν έναν χωροχρονικό κύβο δίνονται τα εξής: Κάθε μικρότερος κύβος που εμπεριέχεται στον βασικό κύβο ονομάζεται κάδος (Bin). Μια στήλη κάδων που μοιράζονται την ίδια χωρική επέκταση ονομάζεται περιοχή (Location) και μια ολόκληρη σειρά που μοιράζεται την ίδια χωρική έκταση ονομάζεται χρονική φέτα (Time Slice). Το βήμα του χρονικού διαστήματος καθόρισε τον τρόπο με τον οποίο διαχωρίστηκαν τα συγκεντρωτικά σημεία διαχρονικά. Αρχικά εφαρμόστηκε το εργαλείο στα δεδομένα με βήμα ανά μήνα επειδή όμως τα αποτελέσματα ήταν πολύ πυκνά επιλέχθηκε να εφαρμοστεί στην τελική ανάλυση ανά χρόνο. Η μέθοδος πραγματοποιήθηκε για κάθε ρύπο ξεχωριστά στον κάθε σταθμό με μέγιστο βάθος χρόνου τα 16 έτη (όχι με συνεχής μετρήσεις) και ελάχιστο τα 5 έτη. Τα σημεία έπρεπε να αντιπροσωπεύουν όλα δεδομένα με προκαθορισμένη ημερομηνία. Σε αυτό άμεση επιρροή είχε η στήλη «Date» που είχε δημιουργηθεί στο αρχικό αρχείο excel αφού το πεδίο που περιέχει τη χρονική σήμανση του συμβάντος έπρεπε να σχετίζεται με πεδίο διαμορφωμένου τύπου «Ημερομηνία – Date». Το εργαλείο Space Time Cube, απαιτεί ποικιλία χρονικών σημείων αλλιώς αποτυγχάνει. Το διάστημα της απόστασης καθόρισε πόσο μεγάλοι θα πρέπει να είναι οι κάδοι χώρου και χρόνου. Οι κάδοι χρησιμοποιούνται για την συγκέντρωση των δεδομένων σημείων. Επειδή τα σημεία δεν ήταν πυκνά επιλέχθηκε ανάλογα μεγάλο χωρικό διάστημα στα 2,5 χιλιόμετρα.

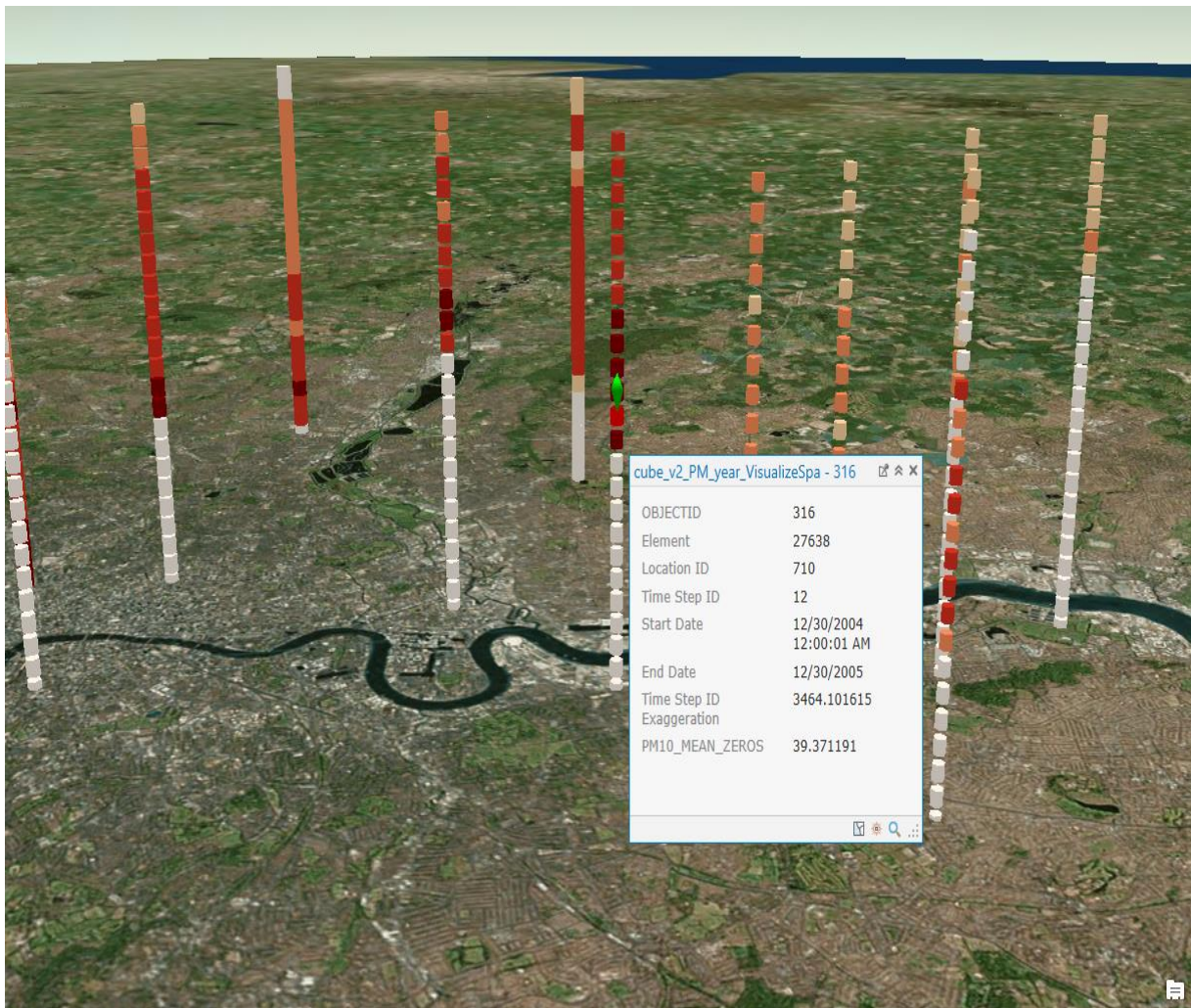


Εικόνα 3.13. Δημιουργία του κύβου Space Time για την μέτρηση των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM10.

Έπειτα από τη δημιουργία κάθε κύβου ελεγχόταν εάν οι τιμές που δινόντουσαν είχαν τη σωστή αντιστοιχία με τα δεδομένα εισόδου στο λογισμικό. Αυτό μπορούσε να πραγματοποιηθεί με μια απλή ταυτοποίηση με δεξί κλικ στον κάθε κύβο ξεχωριστά μετά από προσεκτική εστίαση στον κάθε κύβο ενδιαφέροντος. Αυτός πέρα από την εξακρίβωση είναι και ένας τρόπος απεικόνισης της πληροφορίας μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου. Μέσω αυτής της απεικόνισης έγινε και η απόρριψη του χρονικού βήματος ανά μήνα και επιλέχθηκε εν τέλει το χρονικό βήμα ανά έτος αφού στον μήνα γέμιζε το τοπίο πολλούς κύβους με κενές τιμές λόγω ανεπαρκούς πληροφορίας από την διακοπτόμενη λειτουργία του εκάστοτε σταθμού στον κάθε ρύπο.

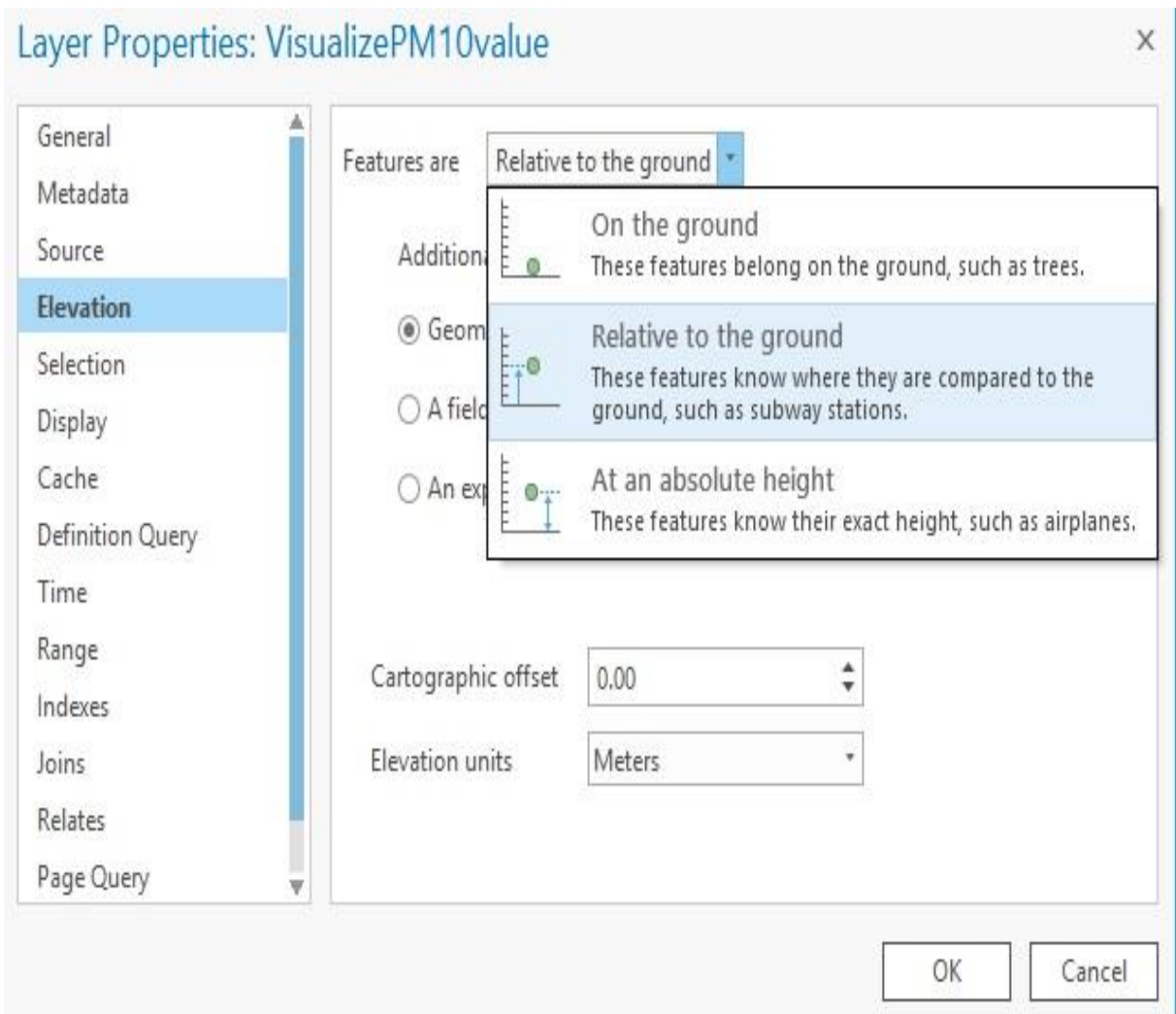


Εικόνα 3.14. Απεικόνιση της πληροφορίας στον κάθε κύβο με βήμα ανά μήνα.



Εικόνα 3.15. Απεικόνιση της πληροφορίας στον κάθε κύβο με βήμα ανά έτος.

Χρησιμοποιώντας το χρόνο ως διάσταση των δεδομένων και με τις επιλογές που πραγματοποιήθηκαν ως ρυθμίσεις στο λογισμικό, όσο πιο μακριά είναι ο κύβος από το έδαφος τόσο πιο πρόσφατες είναι οι πληροφορίες που φέρει. Έτσι, οι κύβοι που πλησιάζουν το επίπεδο του εδάφους συνέβησαν στο πιο μακρινό χρονικό διάστημα που εξετάζεται ανά περίπτωση και όσοι βρίσκονται στην κορυφή δίνουν την πιο πρόσφατη εικόνα.



Εικόνα 3.16. Επιλογή συσχέτισης του εδάφους σχετικά με την εξύψωση στην τρίτη διάσταση.

Στην τελική αξιολόγηση και την δημιουργία των συμπερασμάτων ελήφθησαν υπόψιν συνδυαστικά τα αποτελέσματα και από τα δύο περιβάλλοντα του λογισμικού. Τα βήματα της μεθοδολογίας οδήγησαν σε ένα ευκρινές αποτέλεσμα. Κατά τη διάρκεια παρουσιάστηκαν κάποια κωλύματα τα οποία όμως λειτούργησαν σαν οδηγοί για την επιλογή πιο κατάλληλων και ταιριαστών επιλογών.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

4.1 Έννοιες και θέματα που αναδύθηκαν μέσα από ποιοτική ή ποσοτική ανάλυση

Η χωρική ανάλυση είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους και επιλέχθηκε το λογισμικό του GIS στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή. Μέσω της χωρικής ανάλυσης επιτυγχάνεται η απόκτηση της δύναμης για νέες πληροφορίες και γνώσεις σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση, κάνοντας νέες ερμηνείες σχετικά με την πληροφορία που δίνεται. Η ανάλυση είναι μια λεπτομερής εξέταση όλων των στοιχείων και των δομών που υπήρχαν για την ατμοσφαιρική ρύπανση στο Λονδίνο. Ένα βασικό σημείο είναι η αλληλεπίδραση του ανθρώπινου εγκεφάλου με το οπτικό αποτέλεσμα της ανάλυσης και πως μεταφράζεται η πληροφορία μέσω αυτής της λειτουργίας. Όπως κάθε πρόβλημα χωρικής ανάλυσης έτσι και η εποχιακή κατανομή των ρύπων είχε δύο πολύ ενδιαφέρουσες ροές εργασίας που επαναλαμβάνονται ξανά και ξανά κατά τη διάρκεια της μελέτης. Η πρώτη αφορά την εξερεύνηση χωρικών δεδομένων που σημαίνει πως αλληλεπιδρά ο νους με αυτή την εξερεύνηση και αρχίζει να αποκτά πληροφορίες. Η δεύτερη ροή έχει να κάνει με την επίλυση του ερωτήματος που τέθηκε. Κάθε φορά που γίνεται μια ανάλυση υπάρχει ένα είδος ακολουθίας φάσεων. Αυτές οι δύο προσεγγίσεις βοήθησαν πολύ στη χωρική ανάλυση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, δίνοντας ένα είδος προτύπου και ένα είδος πλαισίου. Ένα από τα βασικά θέματα που αναδύθηκαν και πρέπει να επισημανθεί είναι η διαδικασία των πέντε βημάτων που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των αποτελεσμάτων της χωρικής ανάλυσης και αυτά σχετίζονται με:

- Την θέση ενός κύριου ερωτήματος
- Την μοντελοποίηση του
- Την ερμηνεία του
- Την τελικά συμπεράσματα
- Την επικοινωνία του και τη διανομή του προς τα έξω

Αυτά τα βήματα μπορούν να οδηγήσουν αναπόφευκτα σε νέα ερωτήματα και σε έναν κυκλώνα διαδικασιών, για το πως το τελικό αποτέλεσμα εξελίσσεται περαιτέρω μέσα από τις διαδικασίες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, για το αν μπορούν να επέλθουν σειρές αναλύσεων σε πιο λεπτομερή βάση κλπ. Έτσι τα πέντε αυτά βήματα έπρεπε να είναι τα σημεία αναφοράς των αποτελεσμάτων.

Το Space Time Cube παίρνει τα σημεία και τα τοποθετεί όλα σε έναν ιδεατό κάνναβο. Όταν κανείς δει αυτά τα σημεία σε έναν χάρτη 2D λαμβάνει μόνο πληροφορία x και y και εκεί λήγει η απεικόνιση. Αν και μπορεί να είναι ευκρινές το μοτίβο, σε στοιχεία που

έχουν βάθος 20 χρόνια είναι αδύνατο να δει κανείς σε βάθος τι συμβαίνει και να εξετάσει ενδεχόμενα σε σχέση με τις χρήσεις γης (για τις οποίες υπάρχει ήδη μια πρώτη γνώση) καθώς τα δεδομένα πέφτουν απλά το ένα πάνω στο άλλο κουβαλώντας πληροφορίες 20 ετών. Οπότε, κρίθηκε πως αυτό που αναδύεται από ένα Space Time Cube είναι πολύ δύσκολο να αναδυθεί από μια διδιάστατη απεικόνιση. Καθώς χρησιμοποιείται ο χρόνος σαν τρίτη διάσταση σε πολλές από τις επόμενες εικόνες των αποτελεσμάτων θα παρατηρηθεί πόσο διαφορετική αντίληψη δίνει το να έχεις μια τέτοιου είδους εικόνα και η χρησιμότητα αυτού του είδους της ανάλυσης. Αυτό που δημιουργεί το εργαλείο του Space Time Tool είναι συσσωματώματα σε τέτοια δομή που θυμίζει κύβο και σε κάθε ένας από αυτούς τους κάδους μας μεταφέρει πληροφορία για το πόσα από τα στοιχεία που δίνονται δημιουργήθηκαν σε εκείνη τη δεδομένη χρονική στιγμή και τοποθεσία. Μια ακόμα πληροφορία είναι και το άθροισμα ή ο μέσος όρος του συνόλου των τιμών που σχετίζονται με τα σημεία που συνέπεσαν στο ίδιο κάδο.

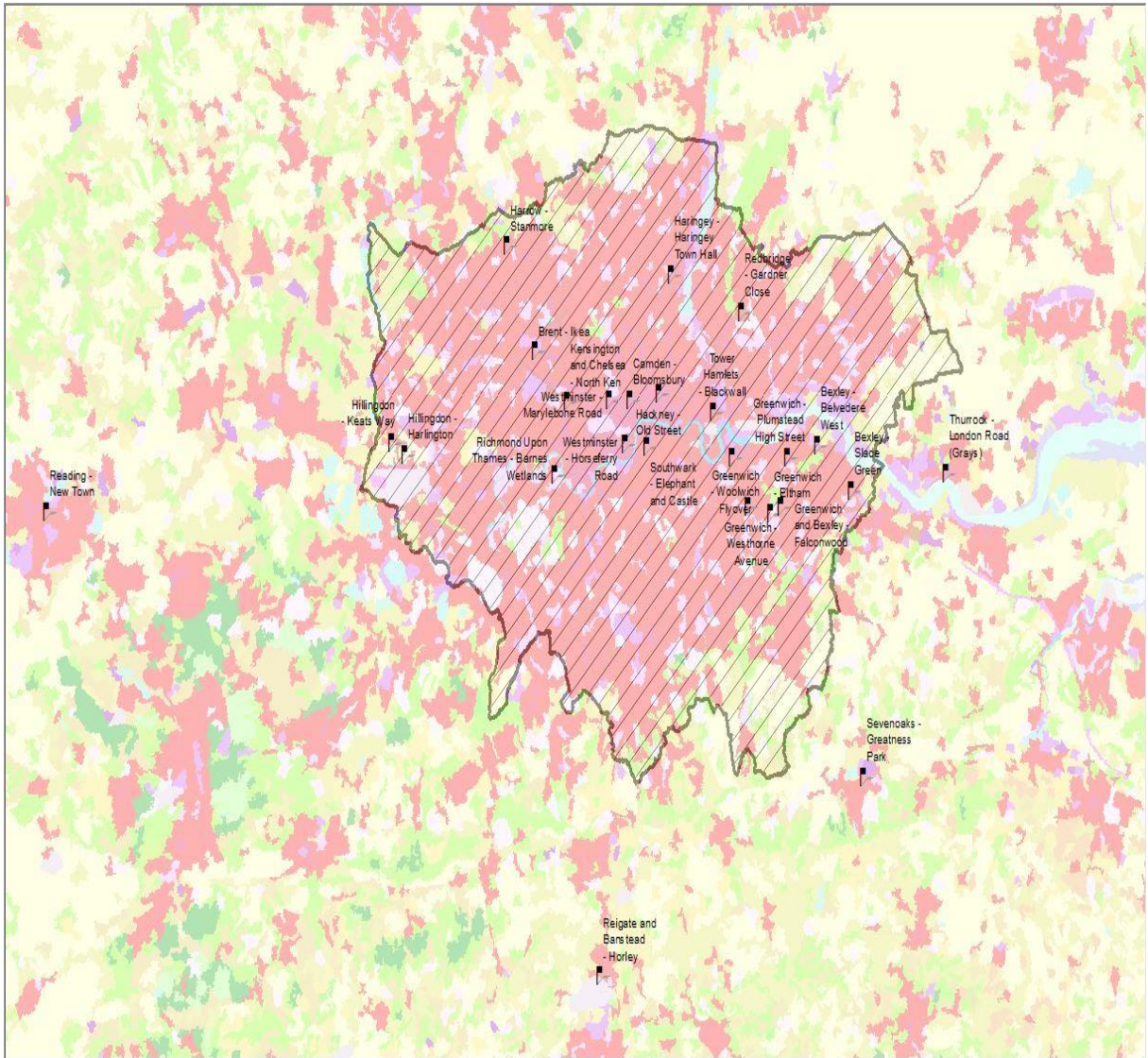
Όταν δημιουργείται ένας κύβος, υπάρχουν κάποιες παράμετροι που πρέπει να υπολογιστούν όπως για παράδειγμα η χωρική κλίμακα που στην παρούσα ανάλυση των προαναφερθέντων ρύπων επιλέχθηκε να είναι τα 2,5 χιλιόμετρα. Αυτό δείχνει ποιο είναι το μέγεθος του πλέγματος που επιλέχθηκε να δημιουργηθεί. Σε μια χωρική ανάλυση είναι σημαντικό να μπορούν να απαντηθούν τα ερωτήματα που θέτουμε πριν από αυτήν, οπότε και η επιλογή του πλέγματος πρέπει να εξυπηρετεί αυτόν τον σκοπό. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανάλυση δεν είναι μόνο χωρική αλλά και χρονική και σε όλες τις πολυπλοκότητες της χωρικής ανάλυσης έχουν προστεθεί και άλλες, αυτές, της χρονικής. Ο χρόνος δεν είναι σαν τον χώρο, προκύπτουν πολλά θέματα για σκέψη που κάνουν τον χρόνο ιδιαίτερα ξεχωριστή παράμετρο.

Κάθε κάδος λειτουργεί σαν ένα μέρος του κυρίως κύβου. Ο κάδος αυτός έχει τη χωρική και τη χρονική έκταση αφού δίνει την αίσθηση του χώρου αλλά περιέχει και χρονική έκταση. Έτσι, συνθέτονται πολλοί κάδοι στην ίδια θέση που δημιουργούν ουσιαστικά μια χρονοσειρά σε αυτή την τοποθεσία. Το Space Time Cube, σε γενικές γραμμές δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί μια ενδιαφέρουσα ανάλυση χρόνου που βασίζεται στην ιδέα ότι μια τοποθεσία είναι ουσιαστικά μια χρονολογική σειρά και έτσι έφερε ευκρινή αποτελέσματα για τη χωροχρονική ροή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του Λονδίνου.

4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά ερευνητική μέθοδο, στάδιο έρευνας, παράμετρο που χρησιμοποιήθηκε.

Μέσα από αυτό το κεφάλαιο αναδύθηκε η υφιστάμενη κατάσταση σχετικά με την ατμοσφαιρική κατάσταση στην περιοχή του Λονδίνου τα τελευταία 20 έτη. Αναλυτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύμφωνα με τα βήματα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Σαν πρώτο βήμα εξετάστηκαν τα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος του Λονδίνου και μέσω αυτού έγινε σαφές, ποιοι από τους σταθμούς που εισήχθησαν εμπίπτουν εντός των ορίων. Σαν υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκαν οι χρήσεις γης του Corine ώστε να υπάρχει συμπερασματική οδός όσον αφορά τις μετρήσεις ρύπων και πως συνδυάζονται με βιομηχανικές, οικιστικές ή πράσινες ζώνες.



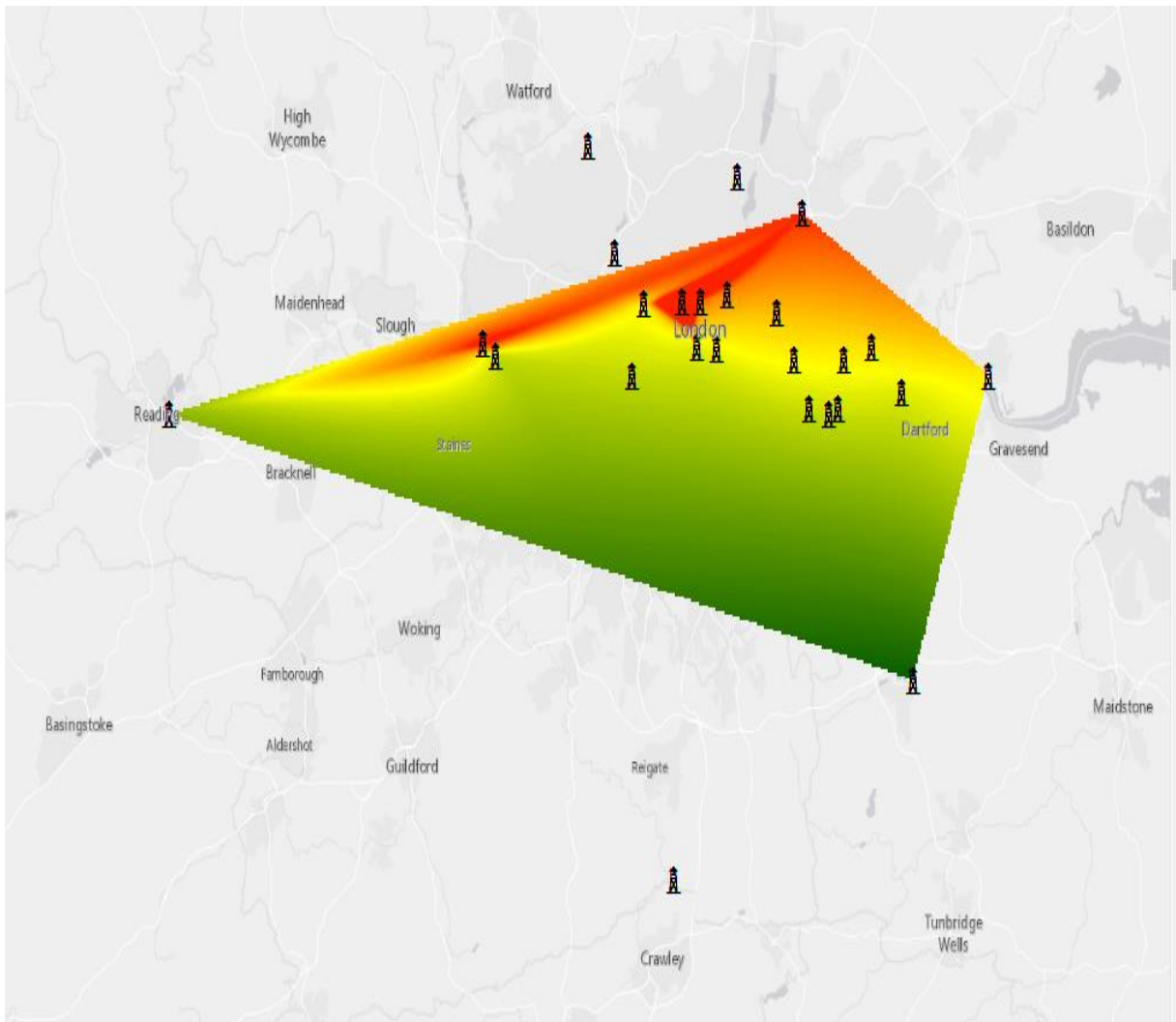
Εικόνα 4.1. Τα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος.

Εκτός των ορίων της περιοχής μελέτης του Λονδίνου βρέθηκαν τέσσερις σταθμοί. Οι μετρήσεις από τους τέσσερις αυτούς σταθμούς δεν μπορούσαν να συμπεριληφθούν στη χωροχρονική εκτίμηση των ρύπων και έτσι μηδενίστηκαν. Αντίστοιχα μηδενίστηκαν και κατά τη συσχέτιση με τις χρήσεις γης.

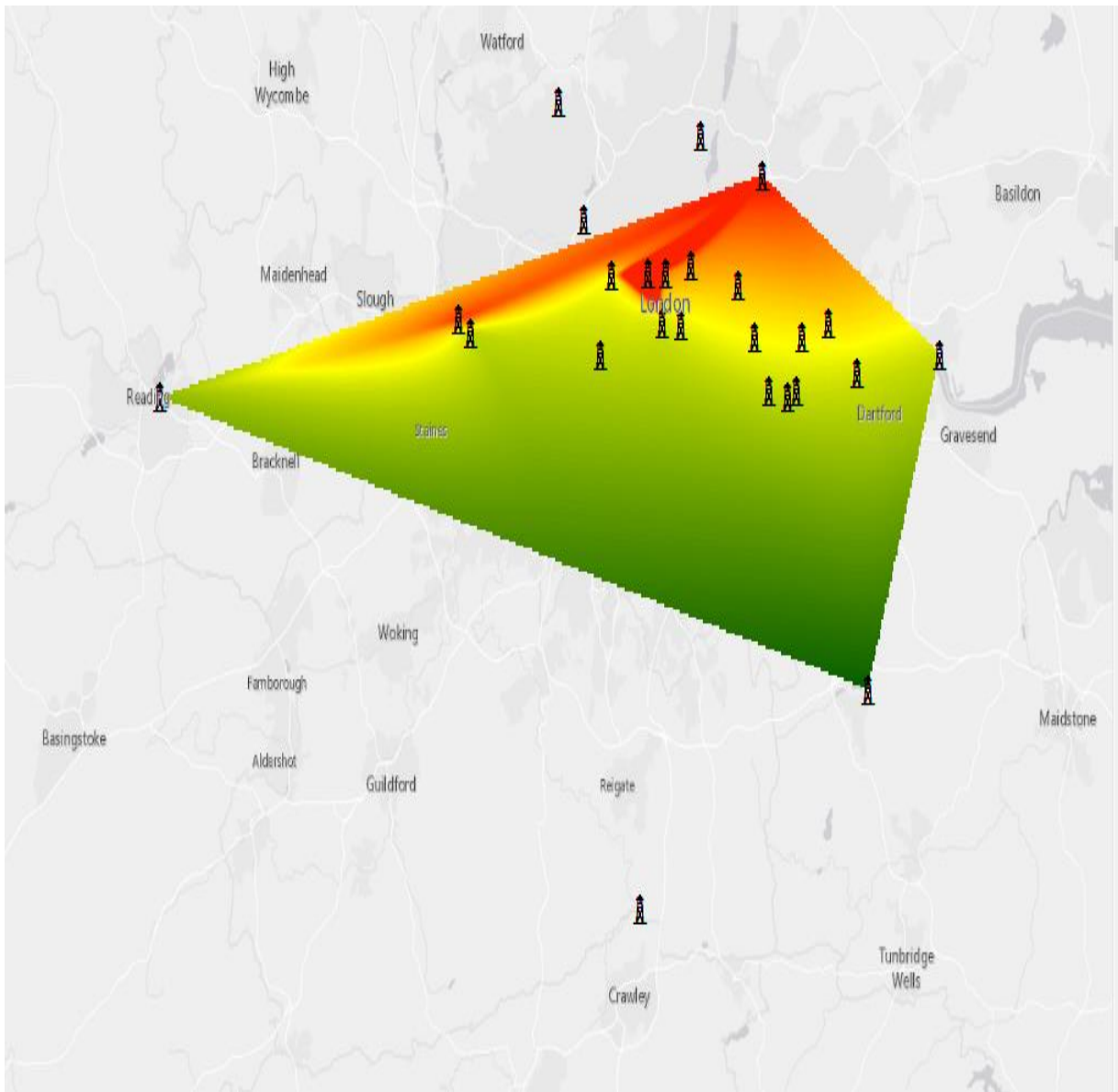
OBJECTID*	Shape*	Site	gridcc	GRID_C	CLC_CODE	LABEL1	LABEL2	LABEL3	
16	Multipoint	Reading - New Town	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
18	Multipoint	Reigate and Banstead - Horley	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
20	Multipoint	Sevenoaks - Greatness Park	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
22	Multipoint	Thurrock - London Road (Grays)	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
3	Multipoint	Brent - Ikea	1	1	111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	230-
4	Multipoint	Camden - Bloomsbury	1	1	111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	230-
10	Multipoint	Hackney - Old Street	1	1	111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	230-
24	Multipoint	Westminster - Horseferry Road	1	1	111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	230-
25	Multipoint	Westminster - Marylebone Road	1	1	111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	230-
2	Multipoint	Bexley - Slade Green	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
6	Multipoint	Greenwich - Plumstead High Street	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
7	Multipoint	Greenwich - Westhorne Avenue	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
8	Multipoint	Greenwich - Woolwich Flyover	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
9	Multipoint	Greenwich and Bexley - Falconwood	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
11	Multipoint	Haringey - Haringey Town Hall	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
12	Multipoint	Harrow - Stanmore	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
14	Multipoint	Hillingdon - Keats Way	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
15	Multipoint	Kensington and Chelsea - North Ken	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
17	Multipoint	Redbridge - Gardner Close	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
21	Multipoint	Southwark - Elephant and Castle	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
23	Multipoint	Tower Hamlets - Blackwall	2	2	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	255-
5	Multipoint	Greenwich - Etham	10	10	141	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Green urban areas	255-
19	Multipoint	Richmond Upon Thames - Barnes Wetlands	10	10	141	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Green urban areas	255-
13	Multipoint	Hillingdon - Harlington	12	12	211	Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	255-
1	Multipoint	Bexley - Belvedere West	18	18	231	Agricultural areas	Pastures	Pastures	230-

Εικόνα 4.2. Οι χρήσεις γης που αντιστοιχούν στις περιοχές των σταθμών του Λονδίνου.

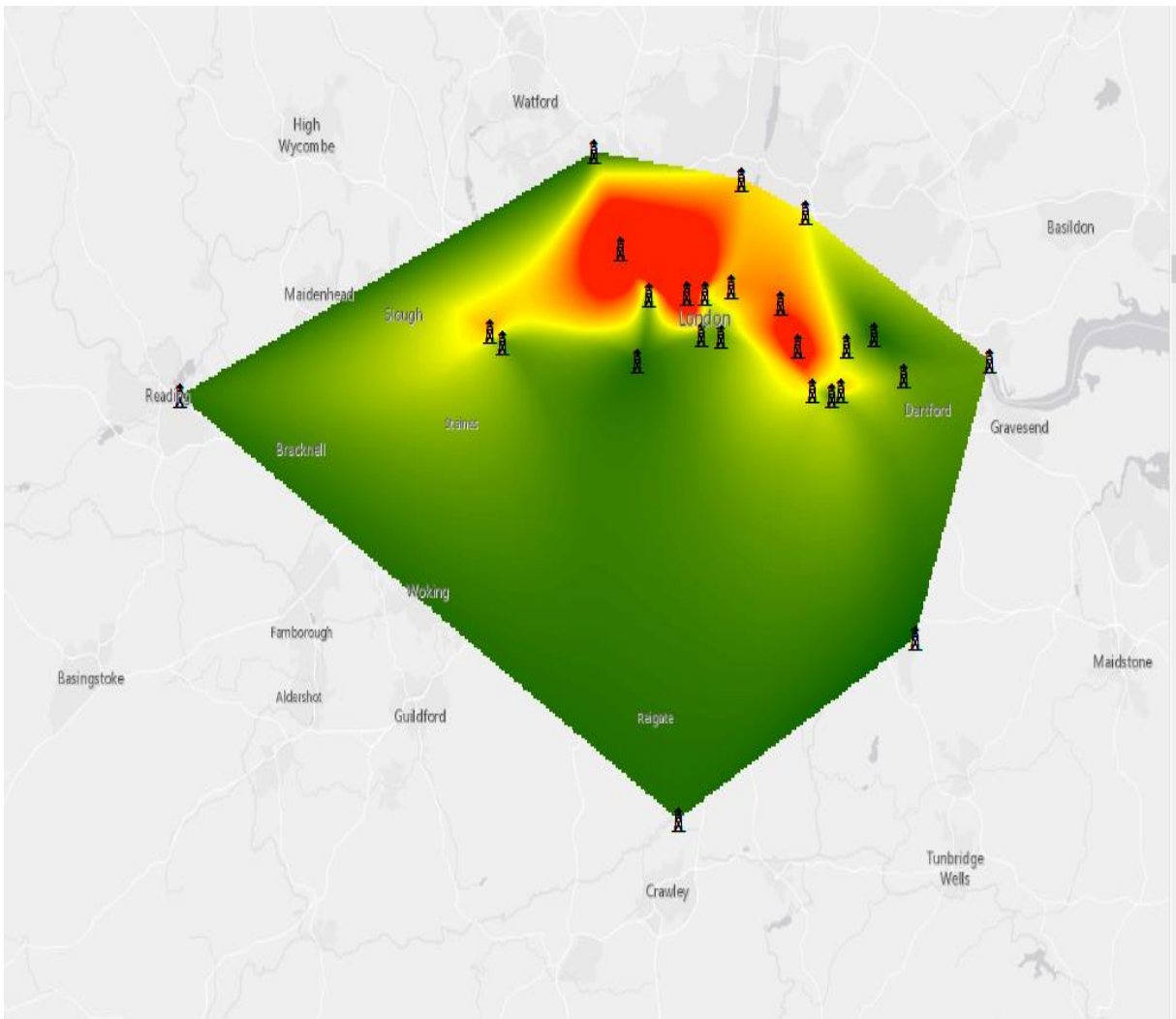
Μετά τη λήξη της σύγκρισης των περιοχών των σταθμών και αντίστοιχα των μετρήσεων τους σε σχέση με τις χρήσεις γης, εφαρμόστηκε πλέον η χωρική ανάλυση με το εργαλείο του Natural Neighbor. Τα μοντέλα απεικόνισης δημιουργήθηκαν ανά σταθμό μέτρησης ρύπων, δύο φορές. Μια για τη χειμερινή περίοδο (Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Μάρτης) και ακόμα μια για την καλοκαιρινή περίοδο (Απρίλιος, Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος). Σκοπός αυτού του διαχωρισμού ήταν η παρατήρηση καθώς και η διεξαγωγή συμπερασμάτων για τις διακυμάνσεις των ρύπων σχετικά με τις εποχές του χρόνου και τις κλιματικές συνθήκες που τις συνοδεύουν.



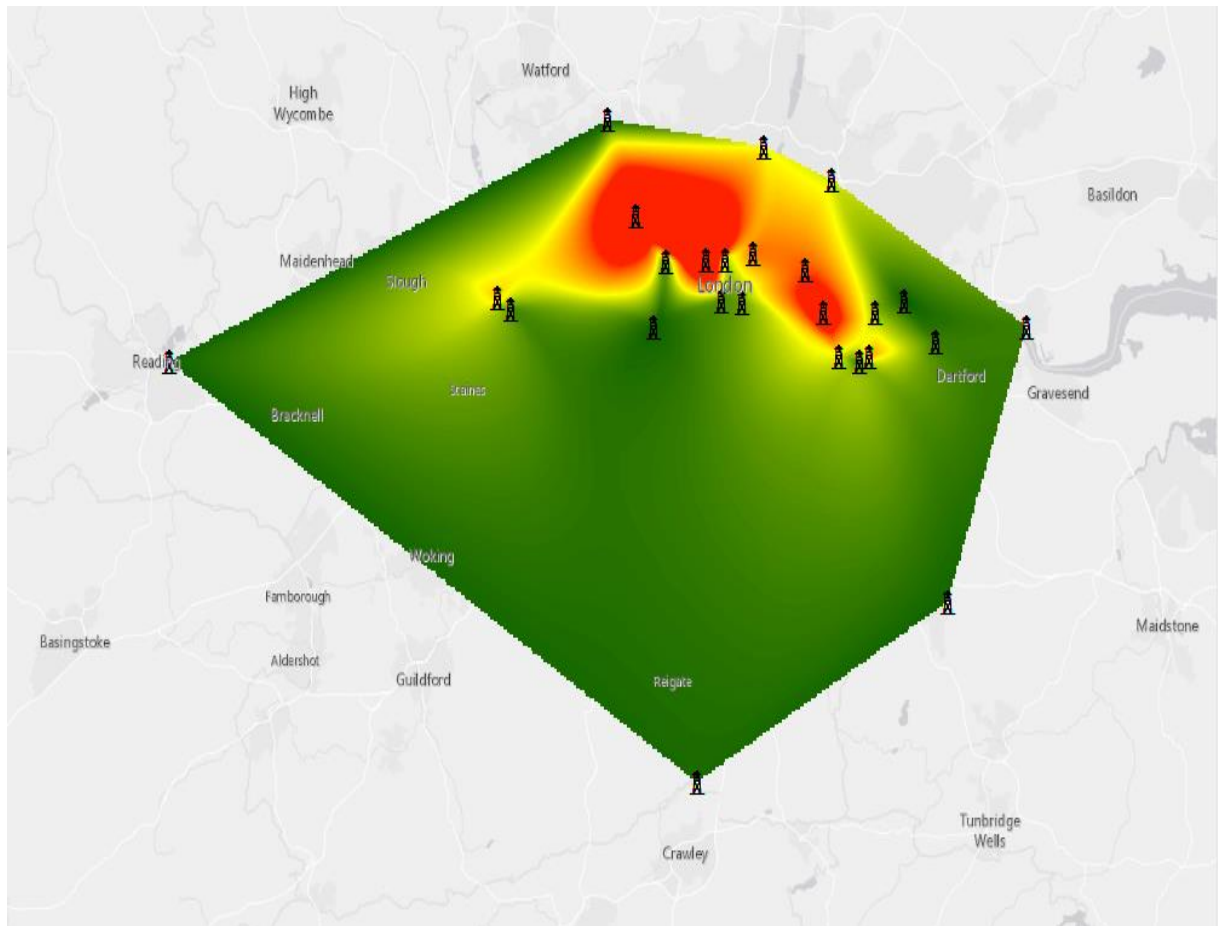
Εικόνα 4.3. Χωρική ανάλυση για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), την χειμερινή περίοδο.



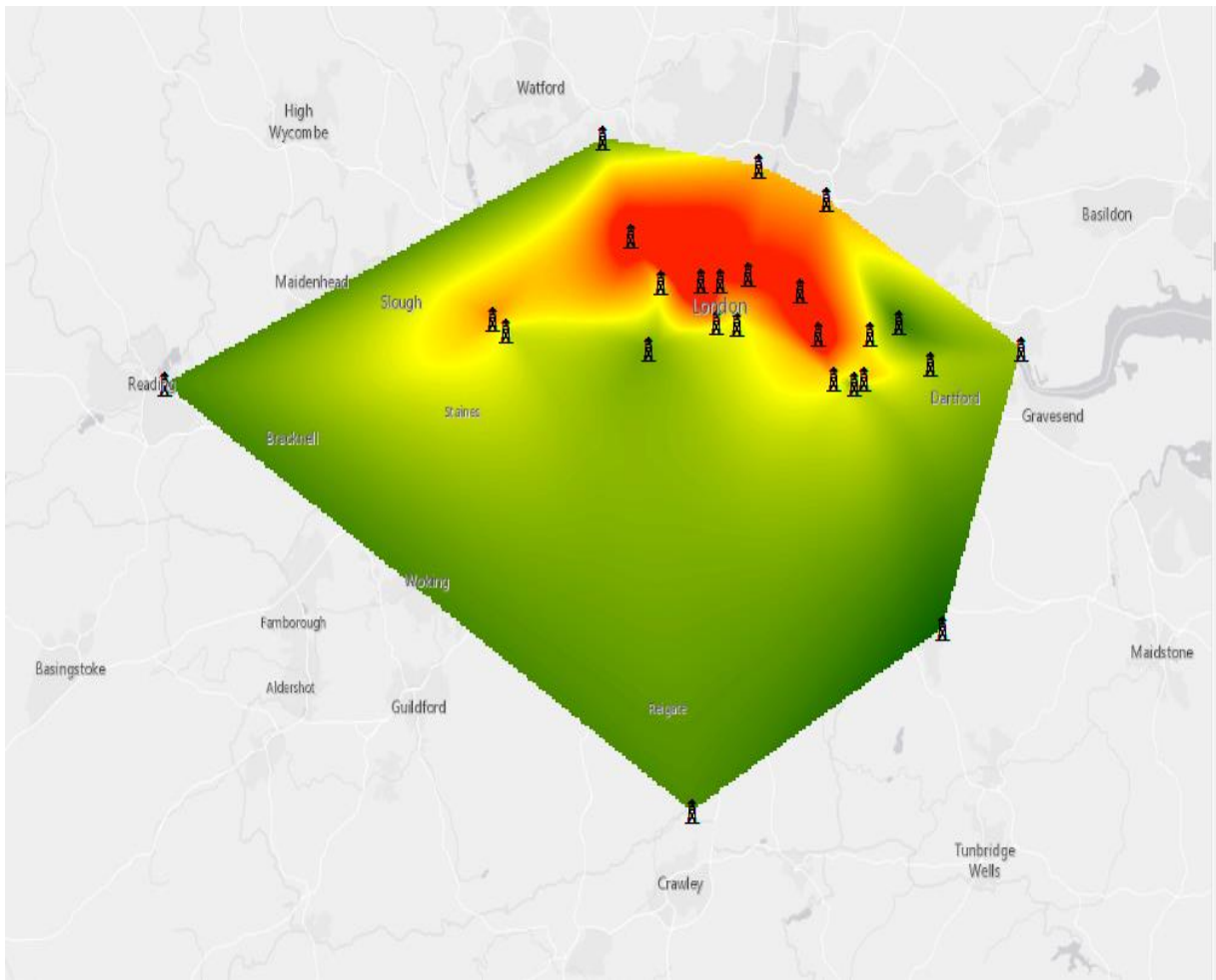
Εικόνα 4.4. Χωρική ανάλυση για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), την καλοκαιρινή περίοδο.



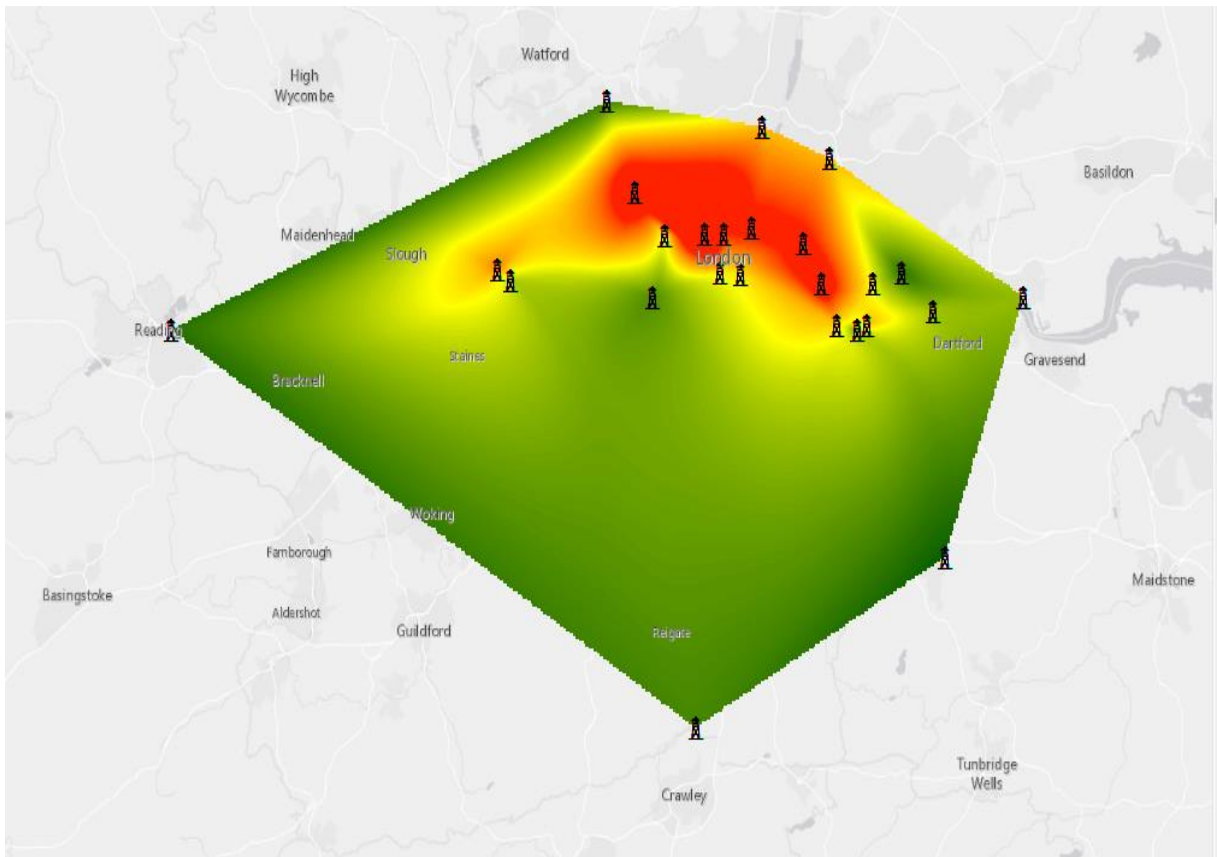
Εικόνα 4.5. Χωρική ανάλυση για το μονοξείδιο του αζώτου (NO), την χειμερινή περίοδο.



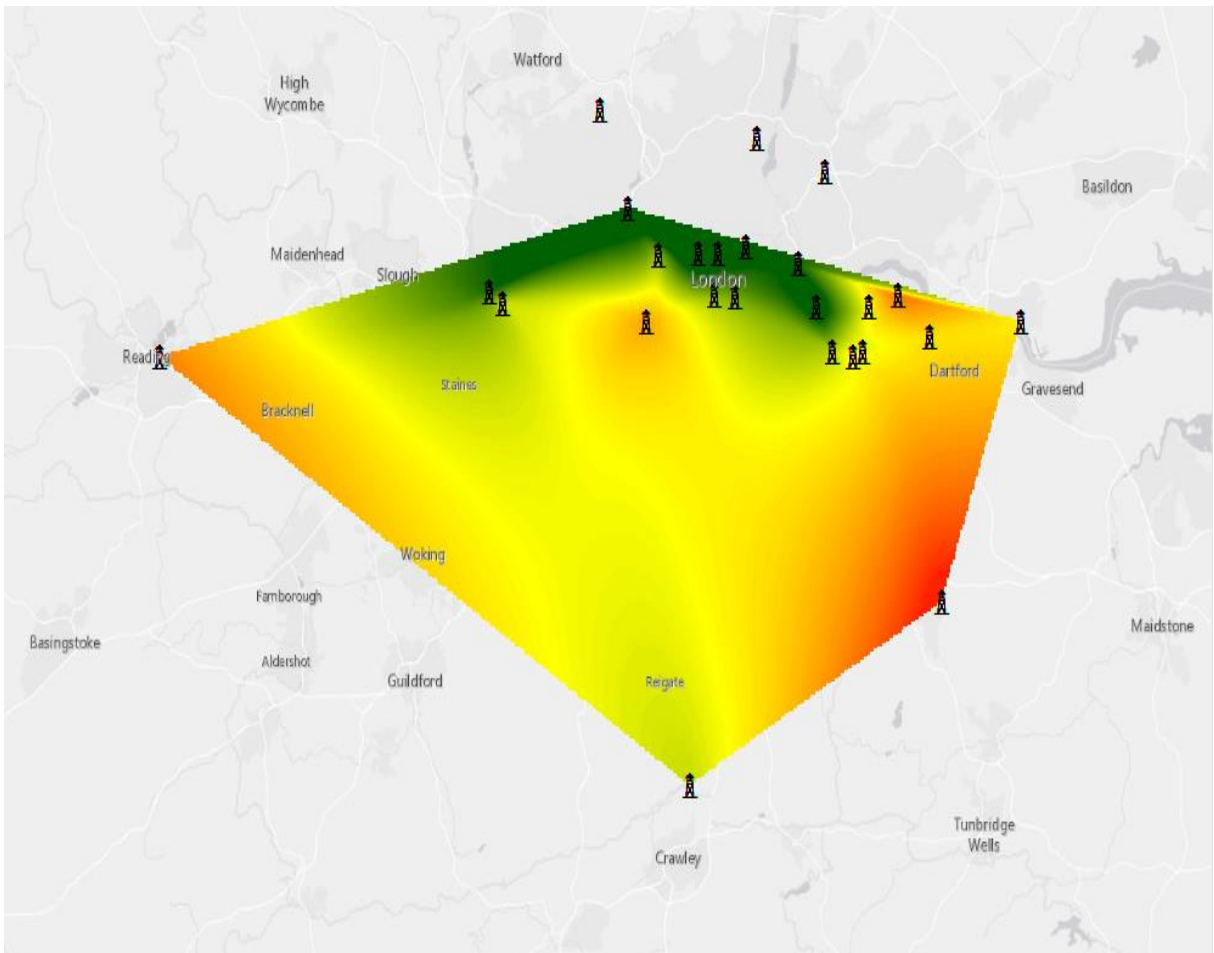
Εικόνα 4.6. Χωρική ανάλυση για το μονοξείδιο του αζώτου (NO), την καλοκαιρινή περίοδο.



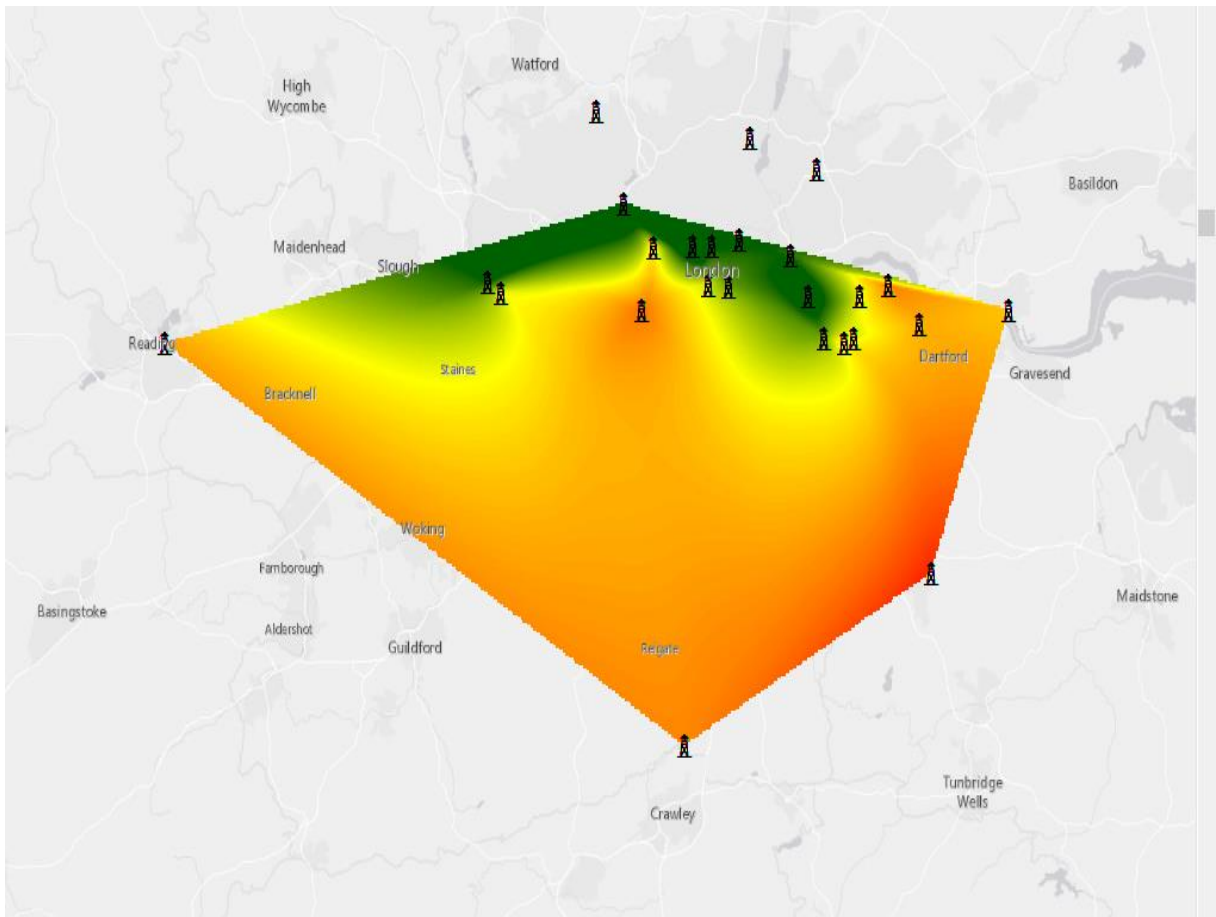
Εικόνα 4.7. Χωρική ανάλυση για το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), την χειμερινή περίοδο.



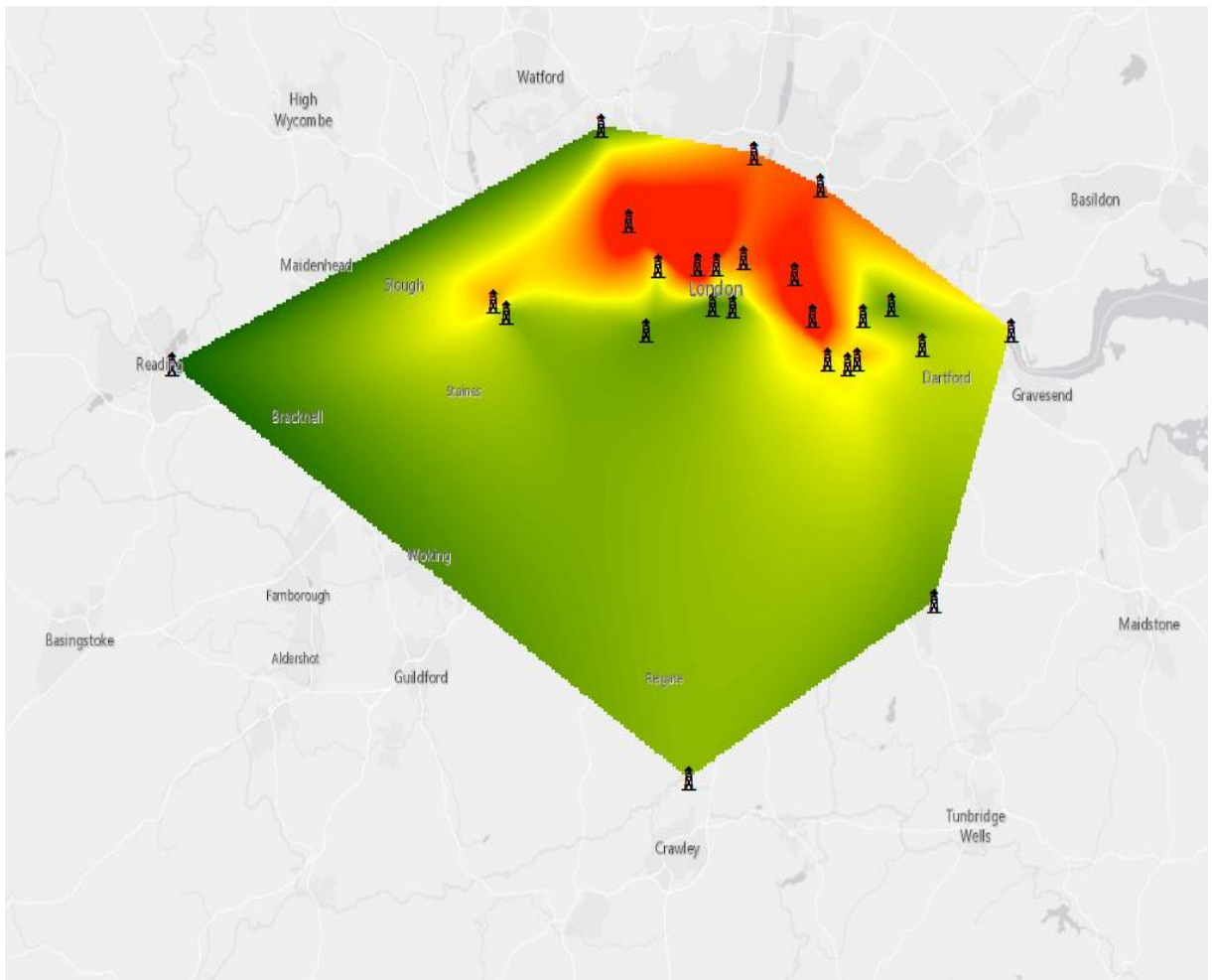
Εικόνα 4.8. Χωρική ανάλυση για το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), την καλοκαιρινή περίοδο.



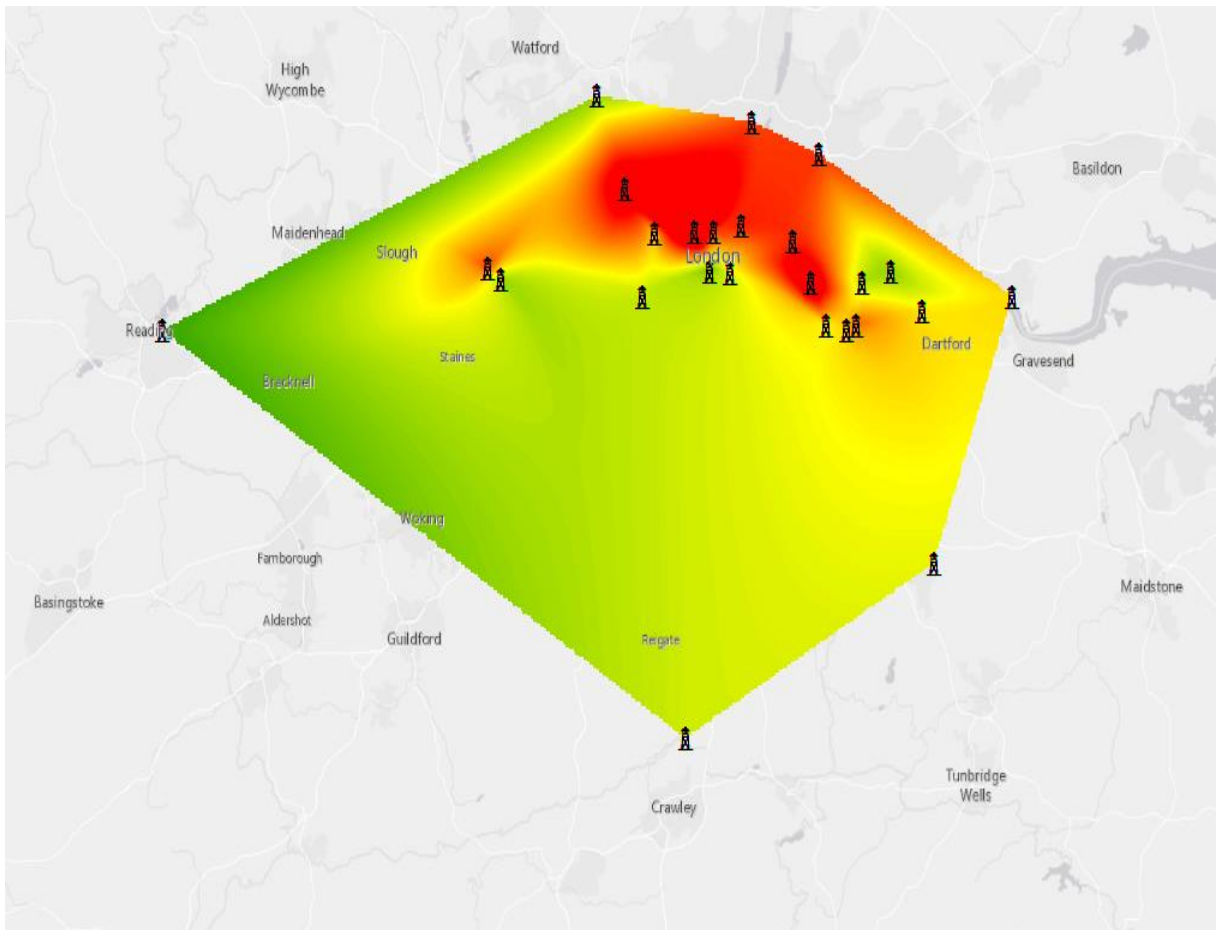
Εικόνα 4.9. Χωρική ανάλυση για το όζον (O_3), την χειμερινή περίοδο.



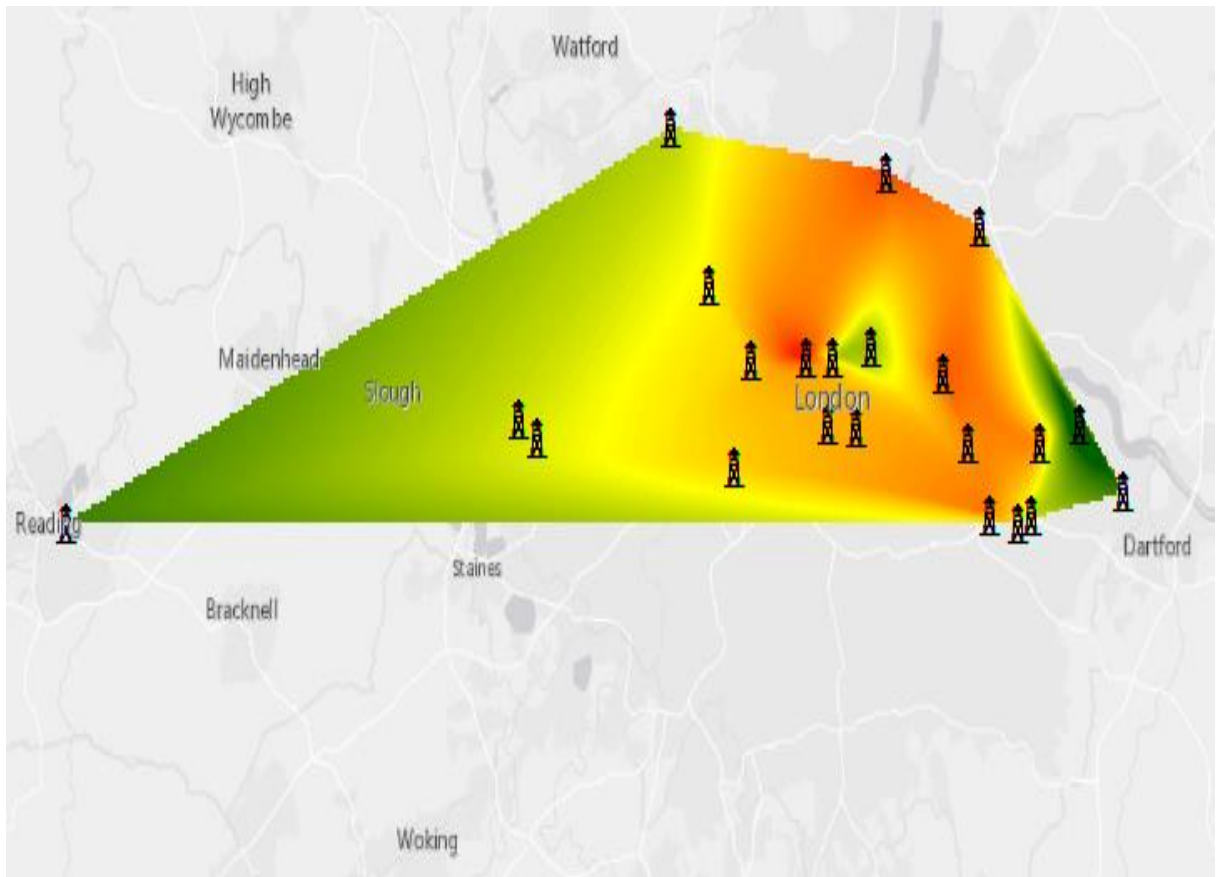
Εικόνα 4.10. Χωρική ανάλυση για το όζον (O₃), την καλοκαιρινή περίοδο.



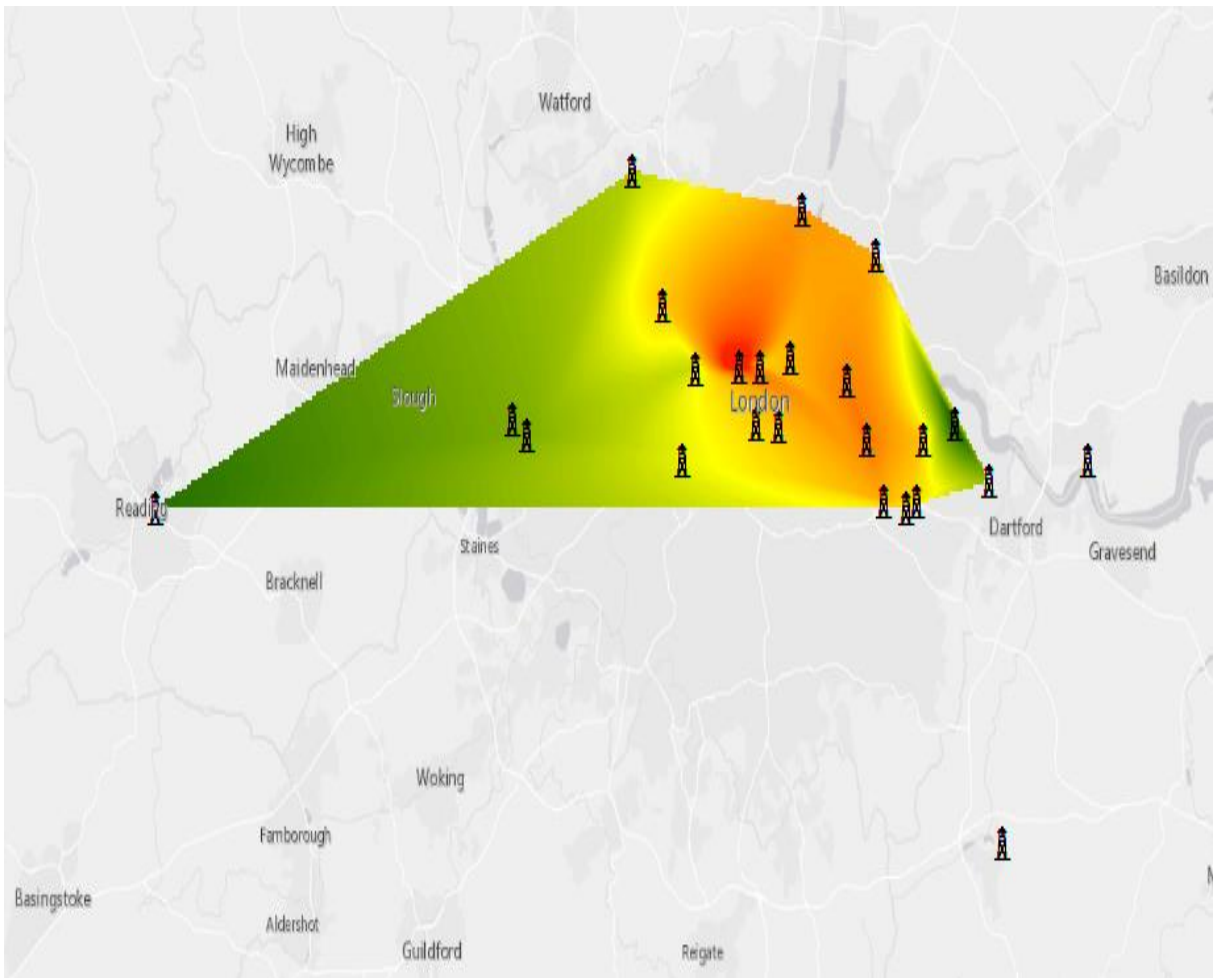
Εικόνα 4.11. Χωρική ανάλυση για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 10), την χειμερινή περίοδο.



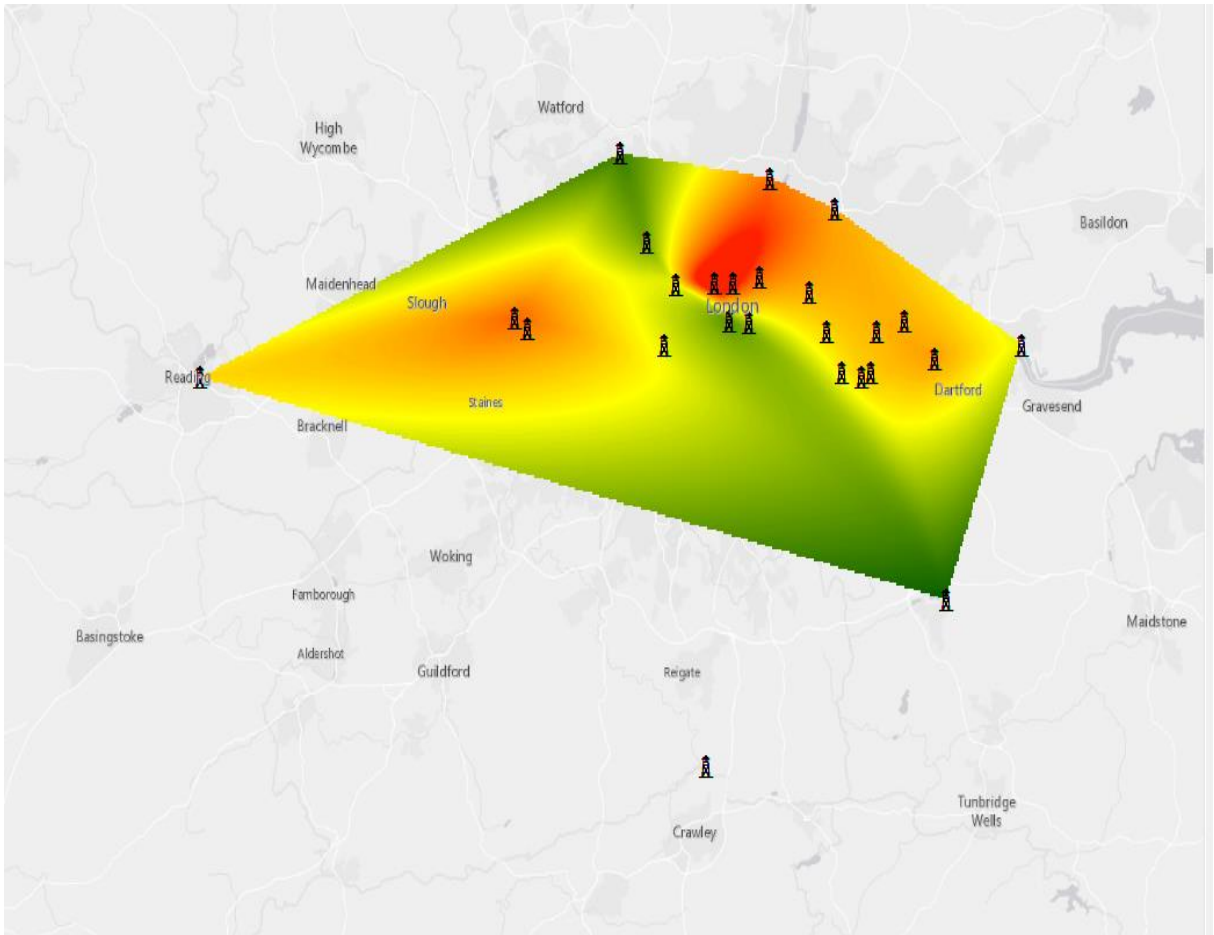
Εικόνα 4.12. Χωρική ανάλυση για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 10), την καλοκαιρινή περίοδο.



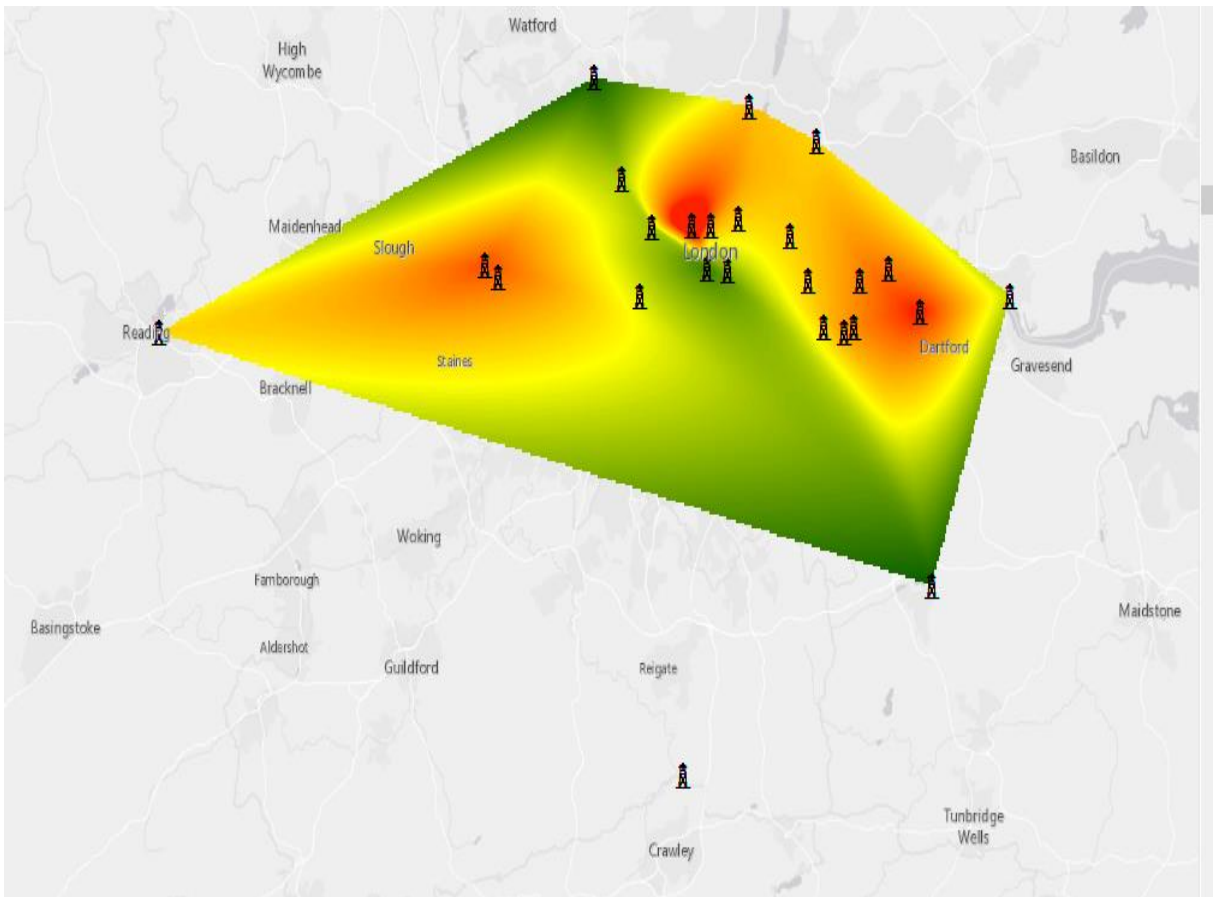
Εικόνα 4.13. Χωρική ανάλυση για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2,5), την χειμερινή περίοδο.



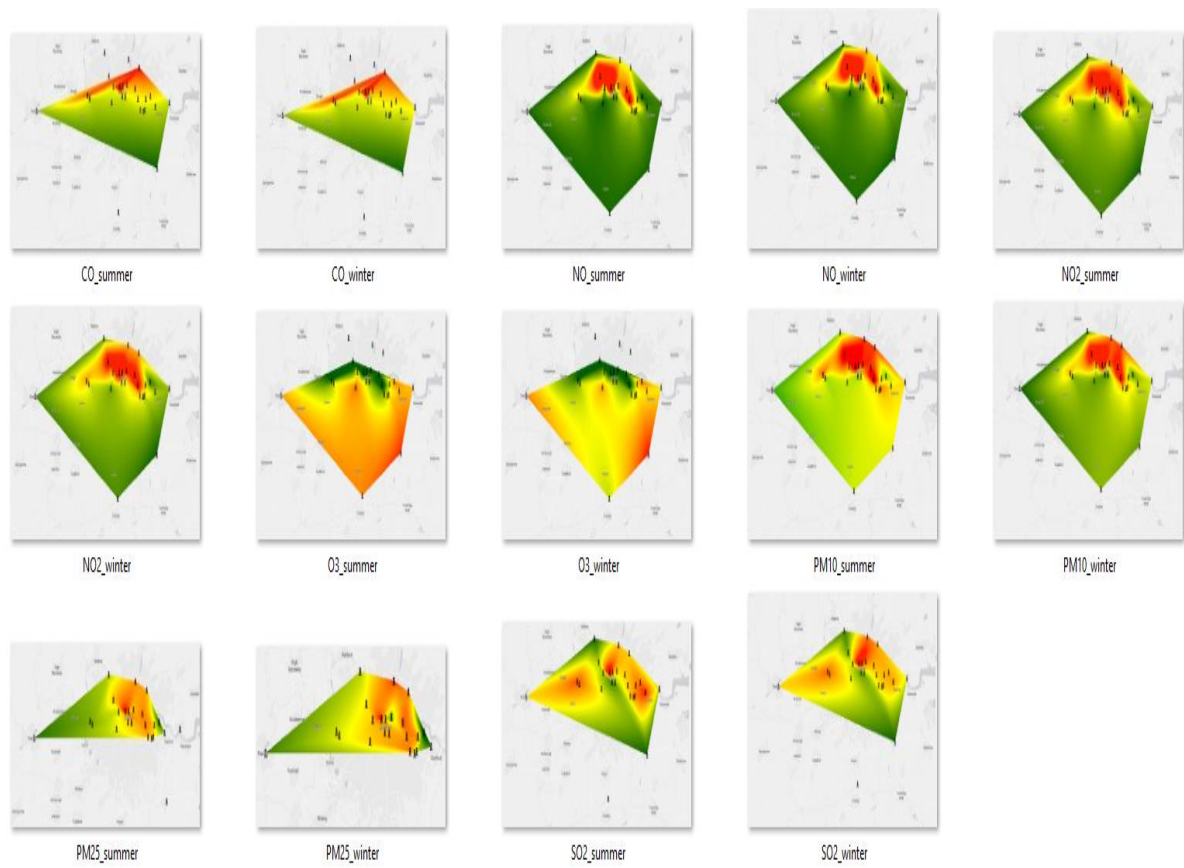
Εικόνα 4.14. Χωρική ανάλυση για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2,5), την καλοκαιρινή περίοδο.



Εικόνα 4.15. Χωρική ανάλυση για το διοξείδιο του θείου (SO_2), την χειμερινή περίοδο.

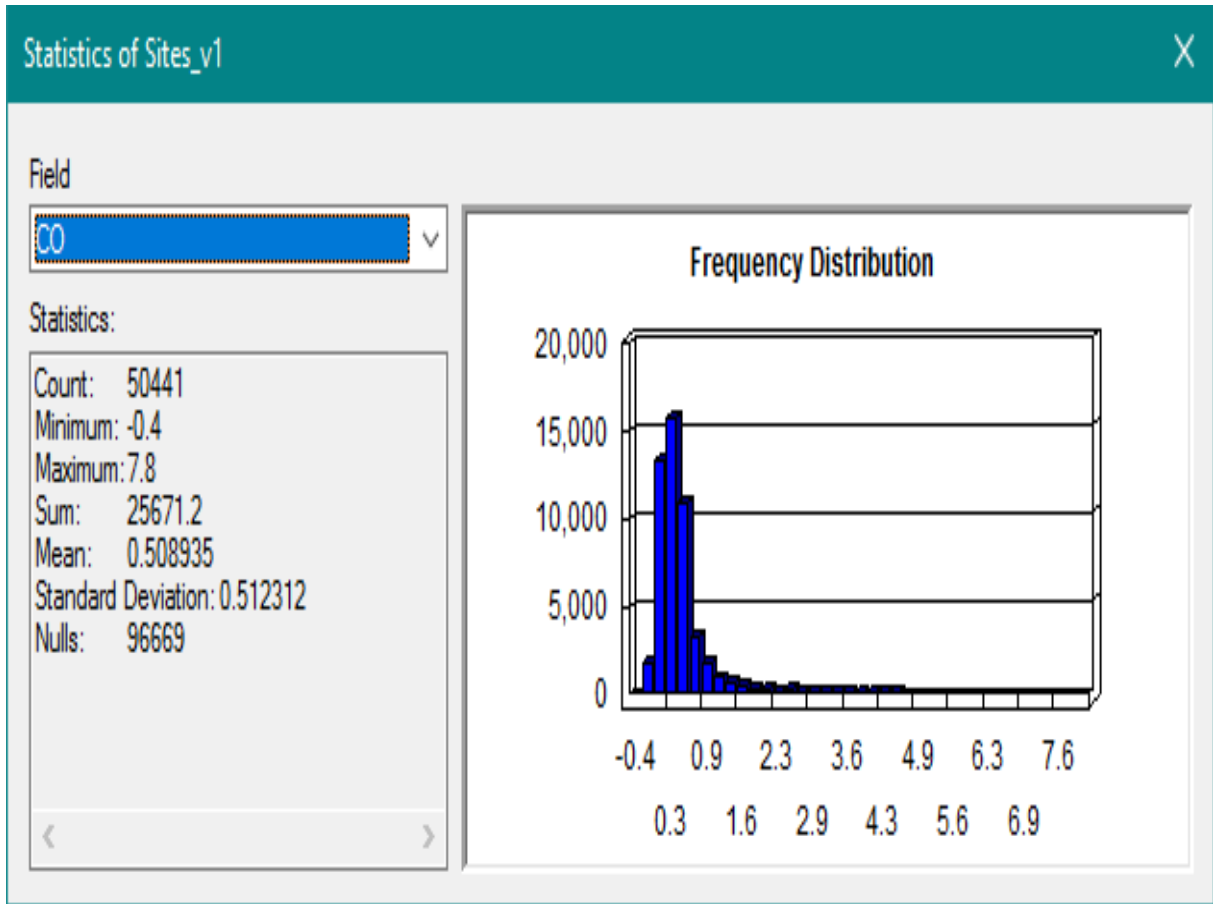


Εικόνα 4.16. Χωρική ανάλυση για το διοξείδιο του θείου (SO_2), την καλοκαιρινή περίοδο.

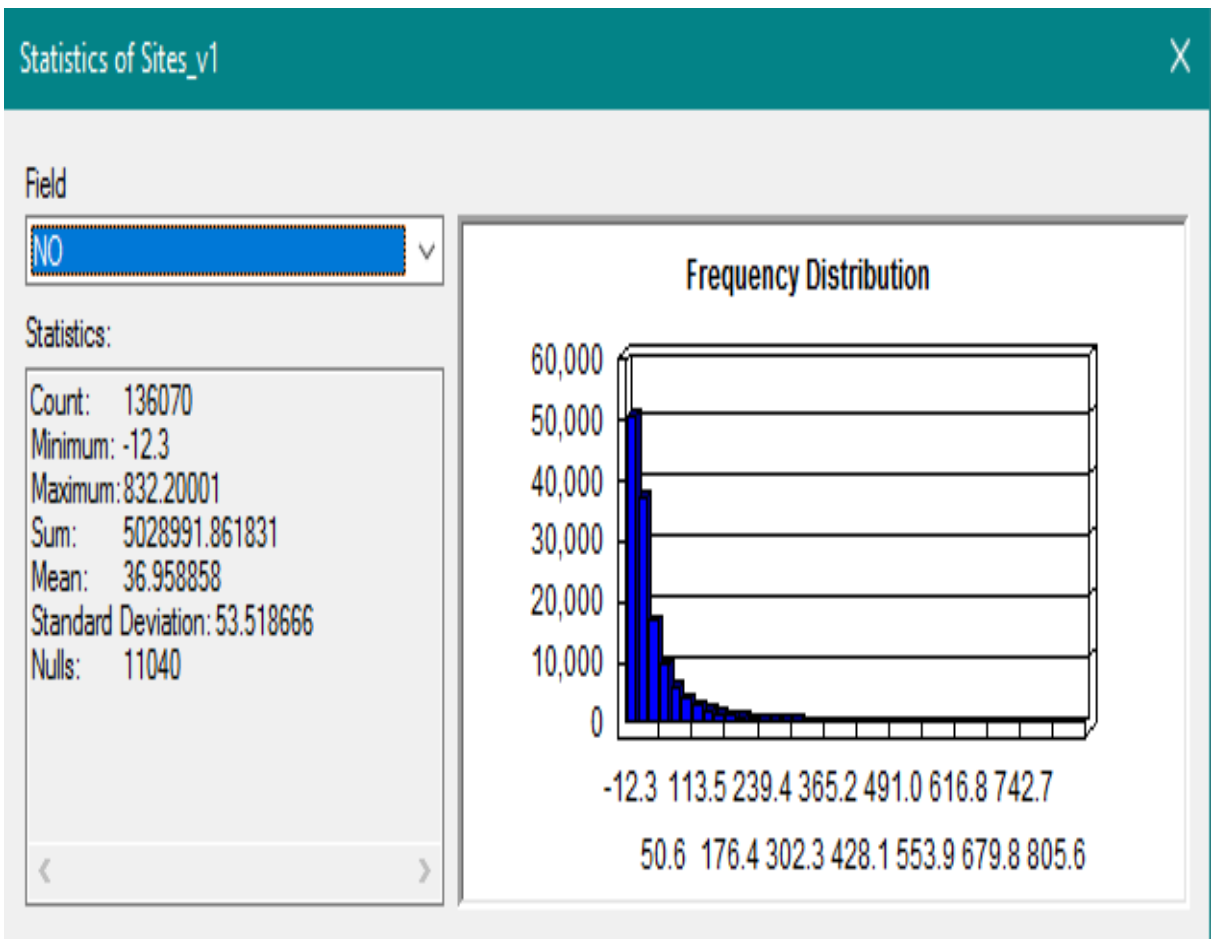


Εικόνα 4.17. Συγκεντρωτική εικόνα των χωρικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για όλους τους ρύπους και τις εποχιακές περιόδους.

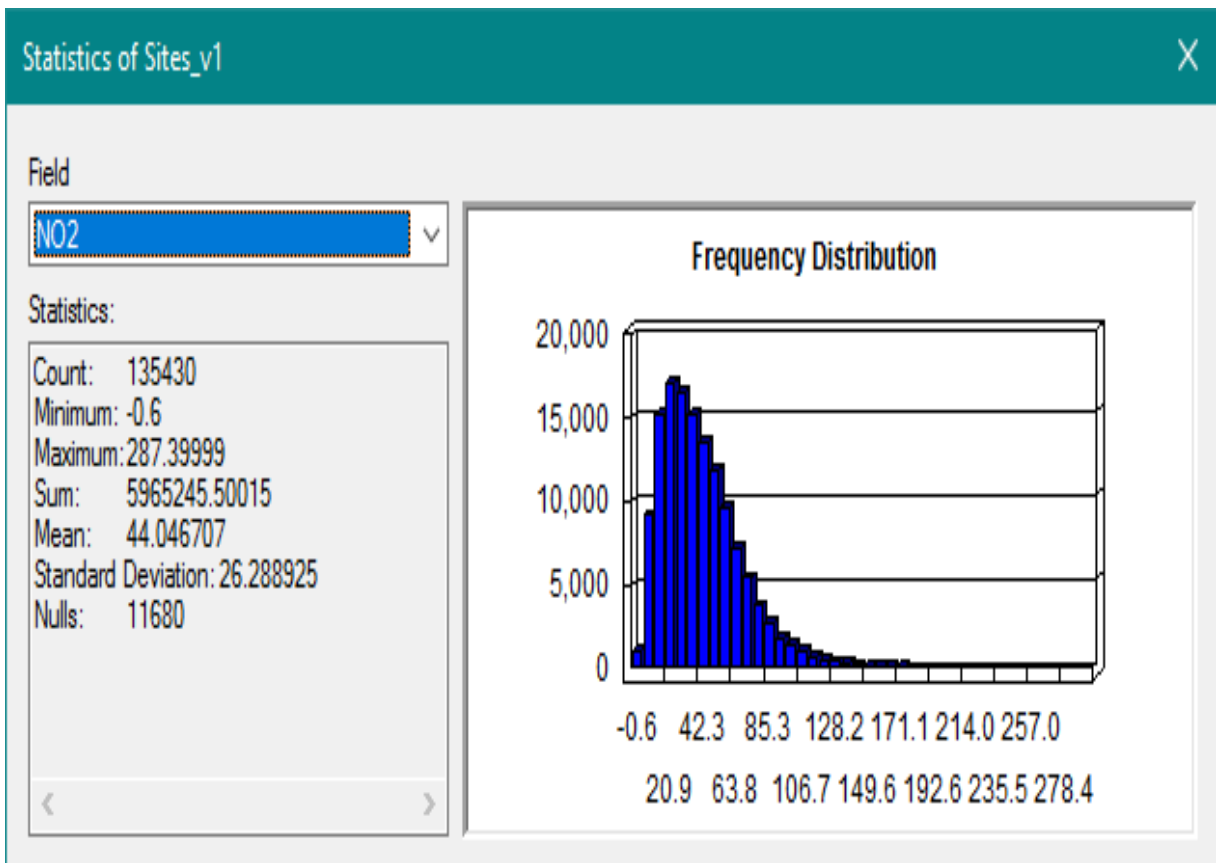
Κατά την ολοκλήρωση του τμήματος της μεταπτυχιακής διατριβής που αφορά τις αναλύσεις που έλαβαν χώρα στο περιβάλλον του ArcMap, πραγματοποιήθηκε και η λήψη μερικών στατιστικών αναλύσεων. Οι τιμές που προκύπτουν μέσω αυτών των αναλύσεων σχετίζονται με βασικές στατιστικές πληροφορίες όπως η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή η τυπική απόκλιση, οι μηδενικές τιμές ή το σύνολο των τιμών, καθώς και διάγραμμα κατανομής συχνότητας ανά ρύπο. Στον άξονα x απεικονίζονται οι τιμές του ρύπου και στον άξονα y η συχνότητα εμφάνισής τους.



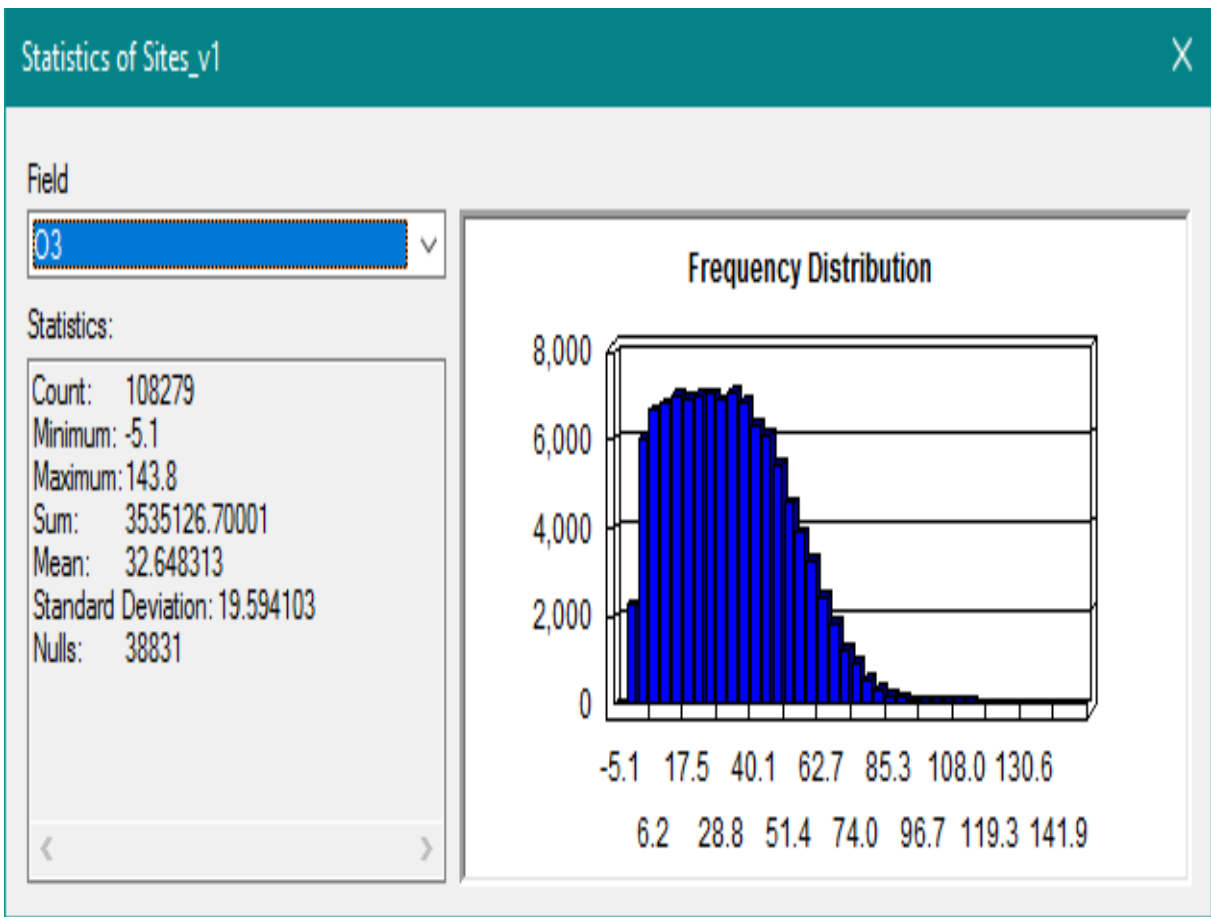
Εικόνα 4.18. Στατιστικά στοιχεία για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).



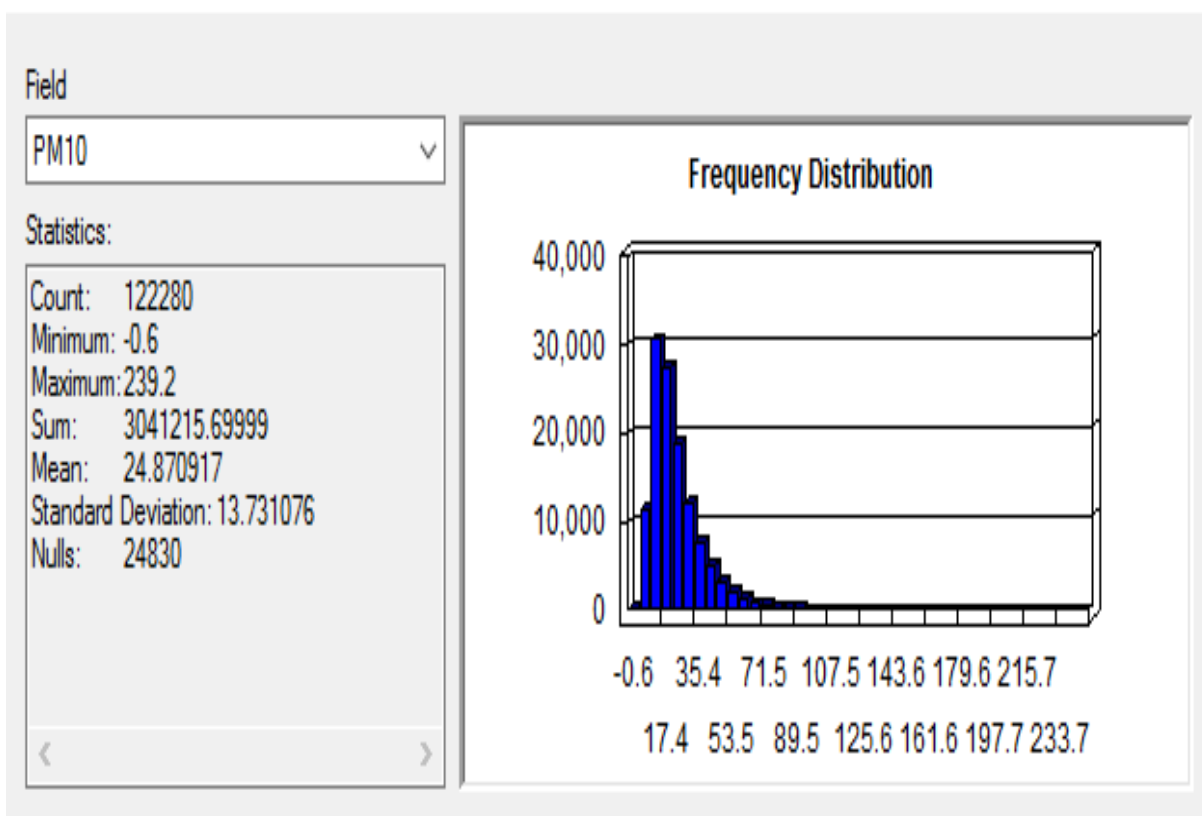
Εικόνα 4.19. Στατιστικά στοιχεία για το μονοξείδιο του αζώτου (NO).



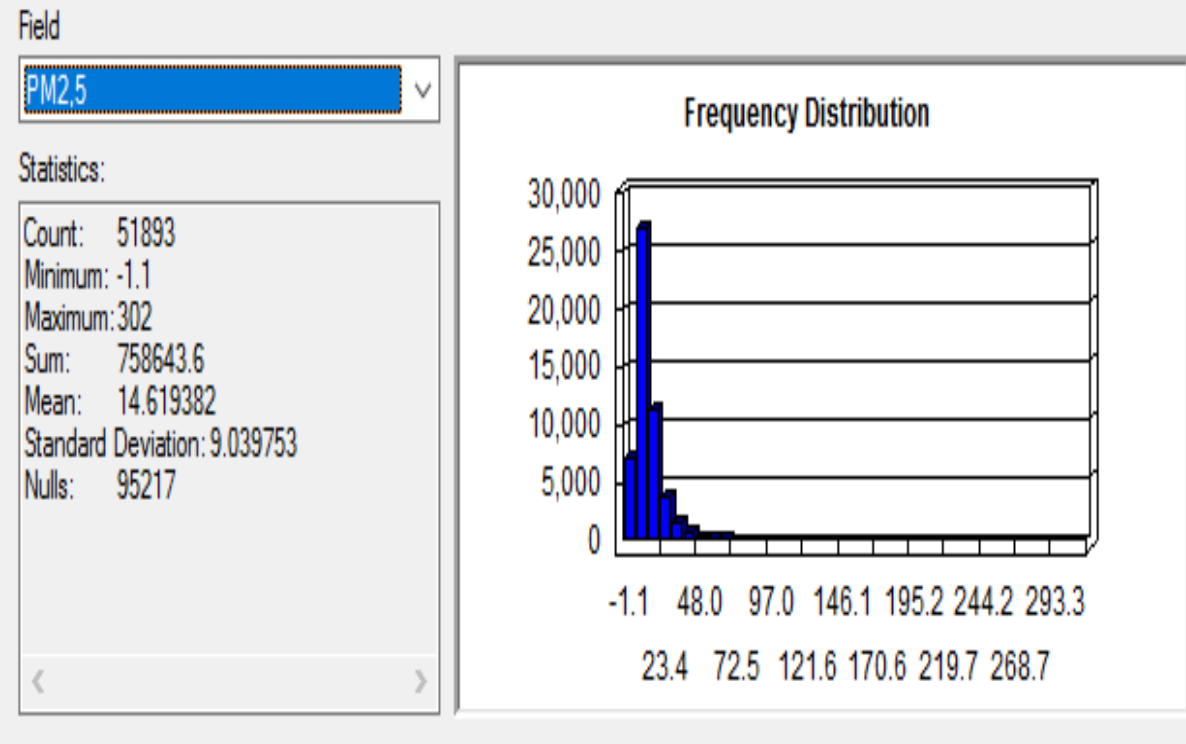
Εικόνα 4.20. Στατιστικά στοιχεία για το διοξείδιο του αζώτου (NO₂).



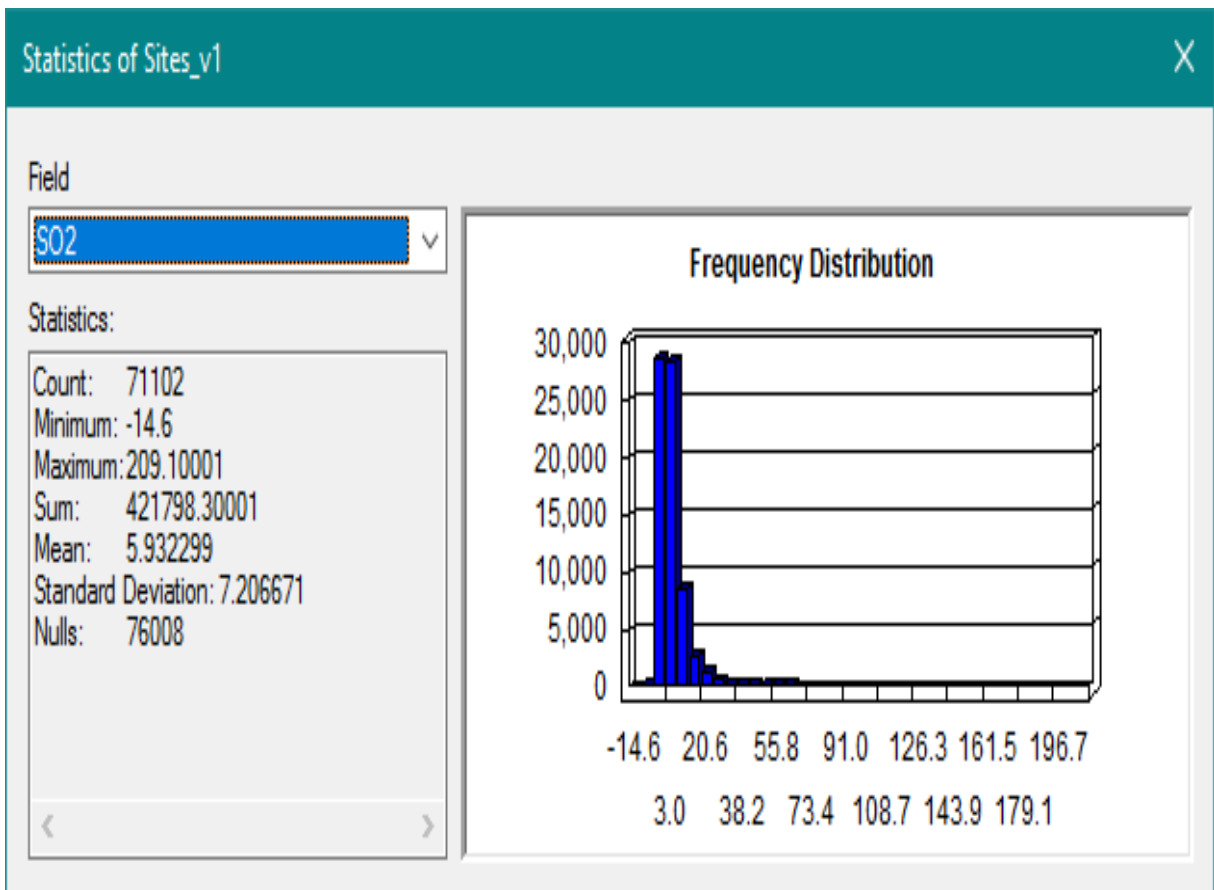
Εικόνα 4.21. Στατιστικά στοιχεία για το όζον (O₃).



Εικόνα 4.22. Στατιστικά στοιχεία για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 10).

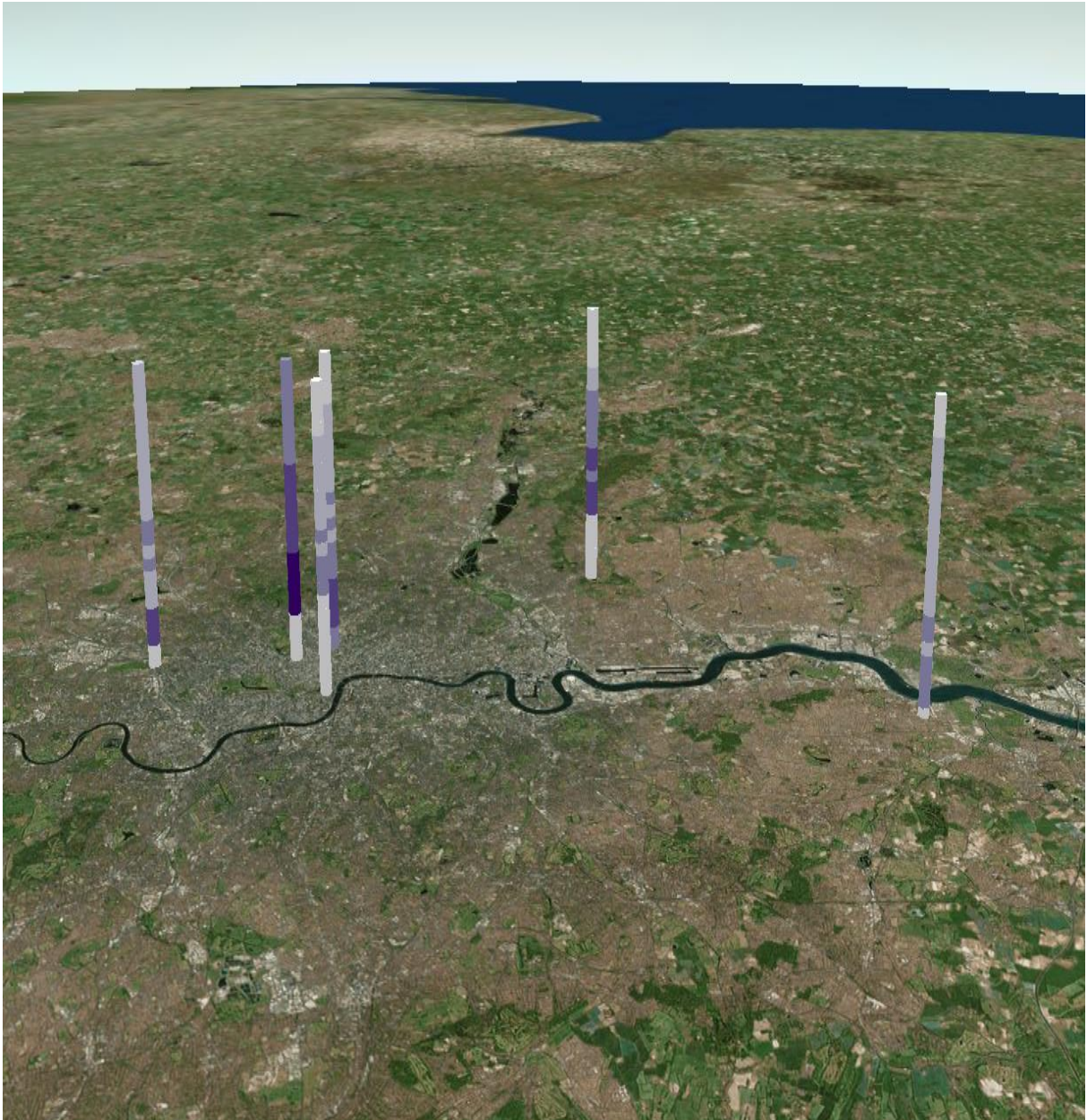


Εικόνα 4.23. Στατιστικά στοιχεία για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2,5).

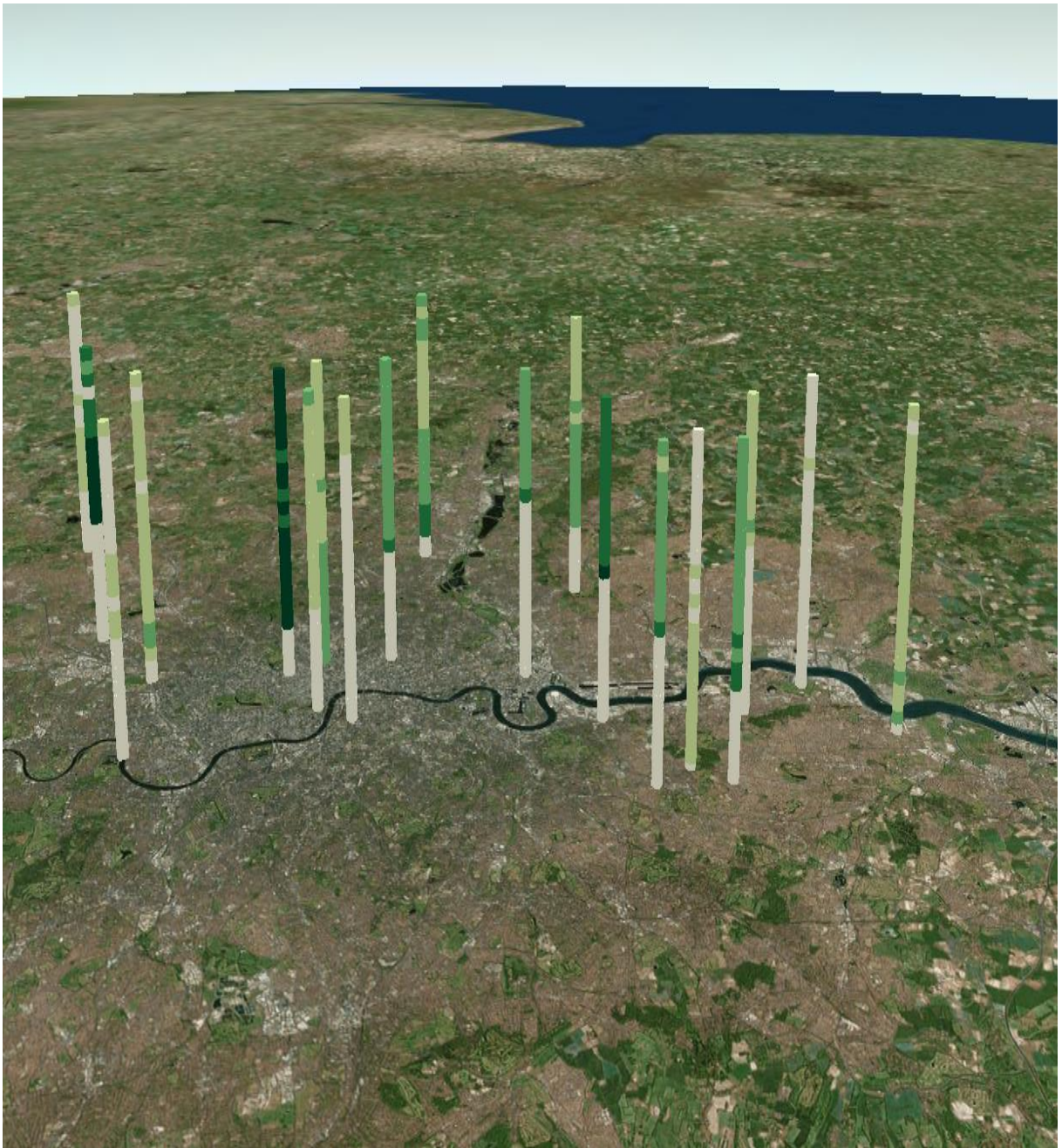


Εικόνα 4.24. Στατιστικά στοιχεία για το διοξείδιο του θείου (SO₂).

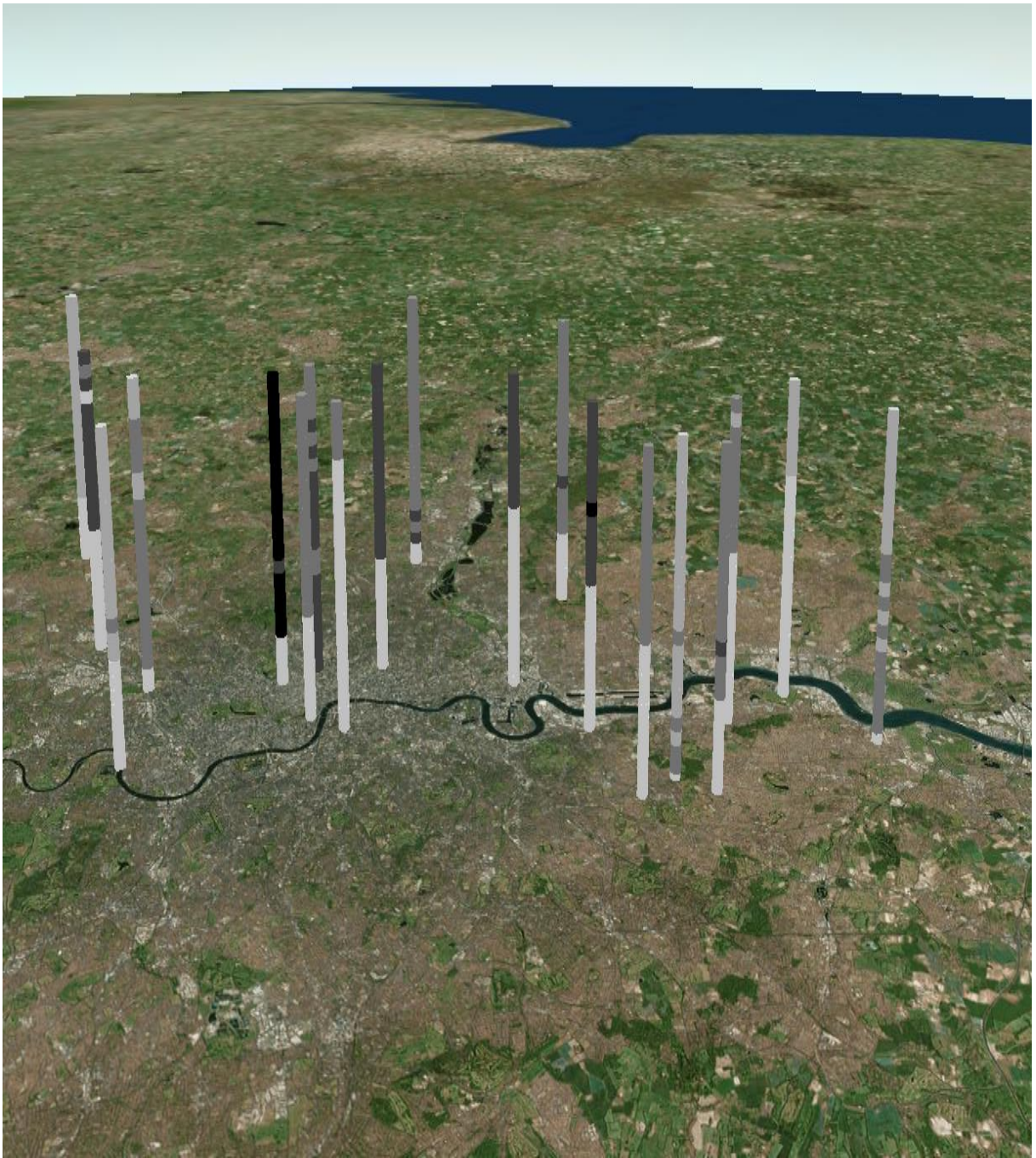
Μετά την εφαρμογή της χωρικής ανάλυσης και αφού έχουν διεξαχθεί ήδη κάποια πρώτα χωρικά συμπεράσματα σχετικά με την κατανομή των ρύπων στην περιοχή του Λονδίνου ανάλογα με τις εποχιακές διακυμάνσεις, πραγματοποιήθηκε η χωροχρονική ανάλυση με το εργαλείο του Space Time Cube. Η χωροχρονική ανάλυση εφαρμόστηκε σε όλους τους ρύπους ξεχωριστά με βήμα απεικόνισης ανά έτος. Η διαφορά πλήθους των σταθμών ανάλογα τον ρύπο έγκειται στο ότι κάποιοι ρύποι δεν μετριοούνται από την πληρότητα των σταθμών και στο ότι κάποιες μετρήσεις ρύπων άρχισαν να πραγματοποιούνται τα τελευταία έτη λόγω εξέλιξης της τεχνολογίας αλλά και λόγω νομικών οδηγιών. Αντίστοιχα, οι έλλειψη τιμών ανά περιόδους οφείλεται σε διακοπές μετρήσεων των σταθμών. Οι τιμές του κάθε ρύπου χωρίζονται σε πέντε κλάσεις ανάλογα με τις τιμές που δίνονται στο σύνολό τους.



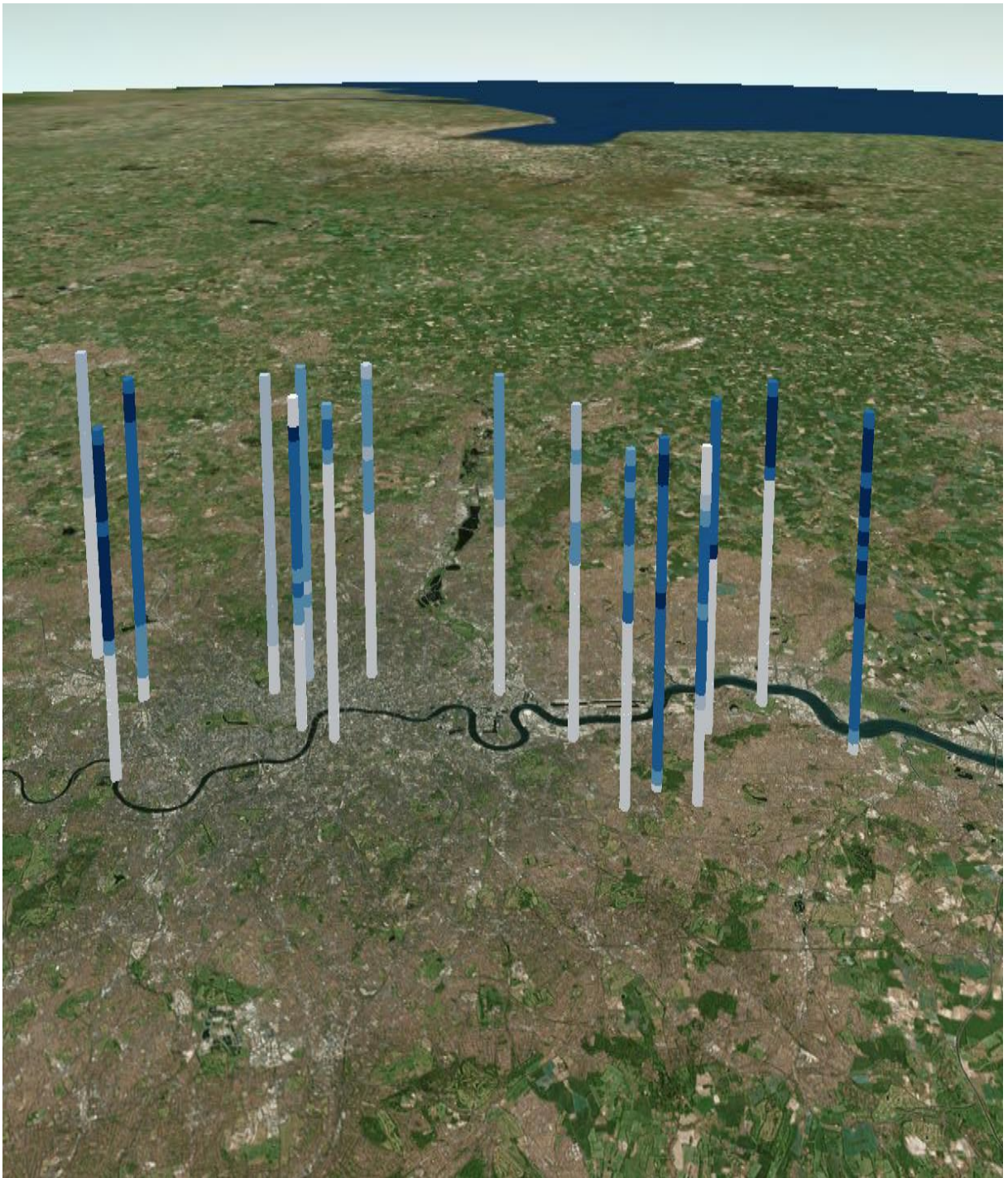
Εικόνα 4.25. Χωροχρονική ανάλυση για το μονοξείδιο του άνθρακα (CO₂).



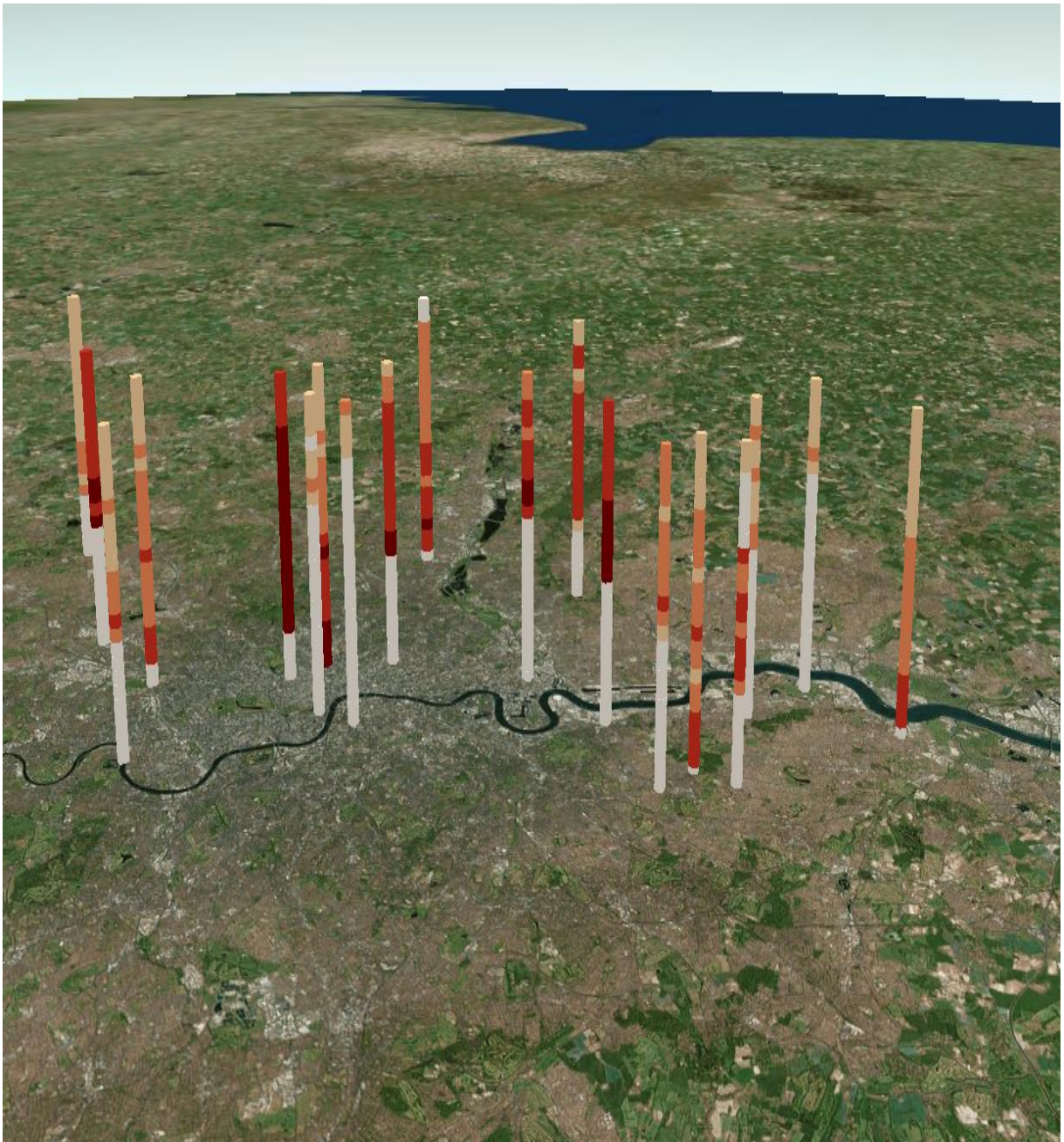
Εικόνα 4.26. Χωροχρονική ανάλυση για το μονοξείδιο του αζώτου (NO).



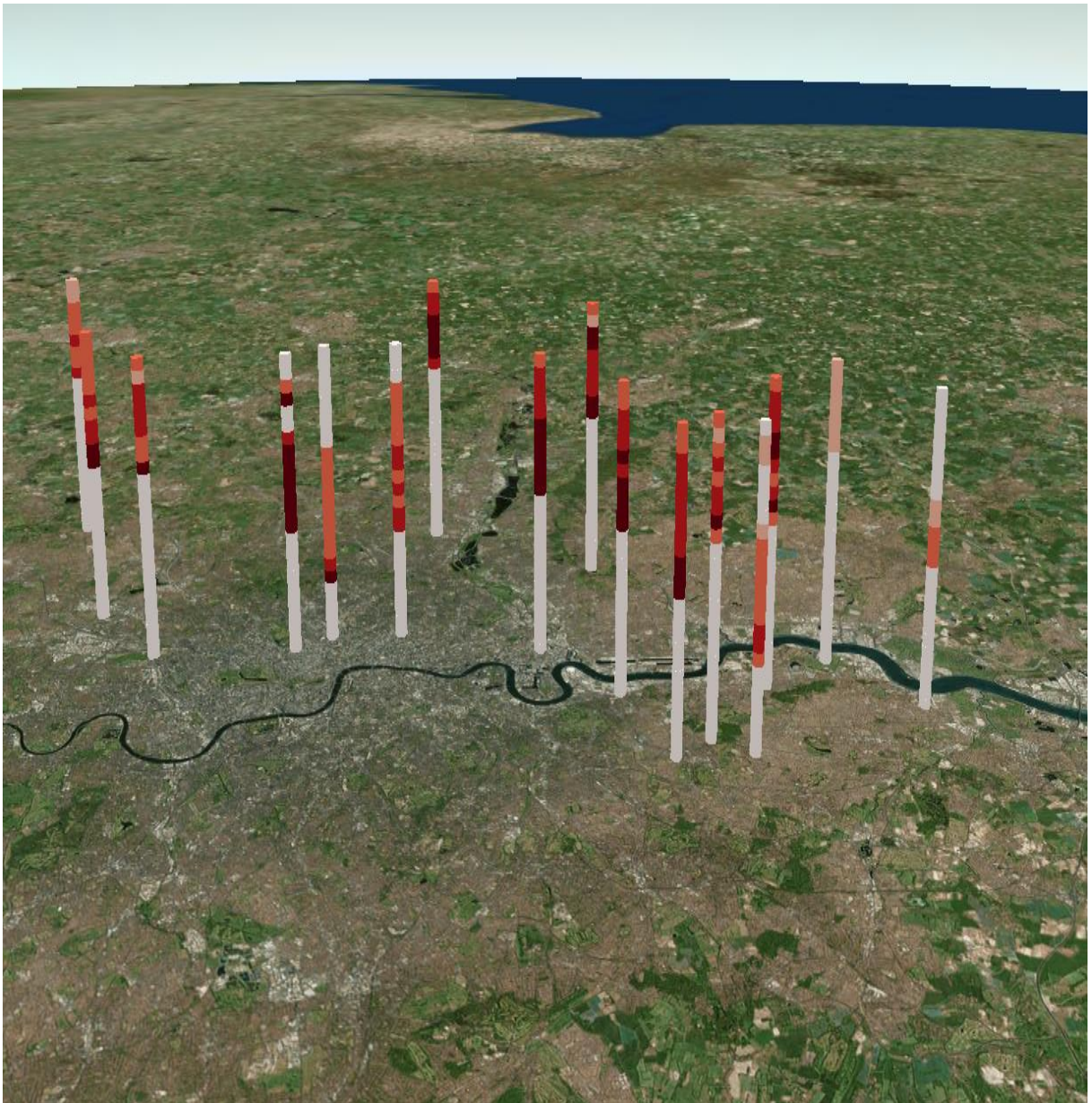
Εικόνα 4.27. Χωροχρονική ανάλυση για το διοξείδιο του αζώτου (NO_2).



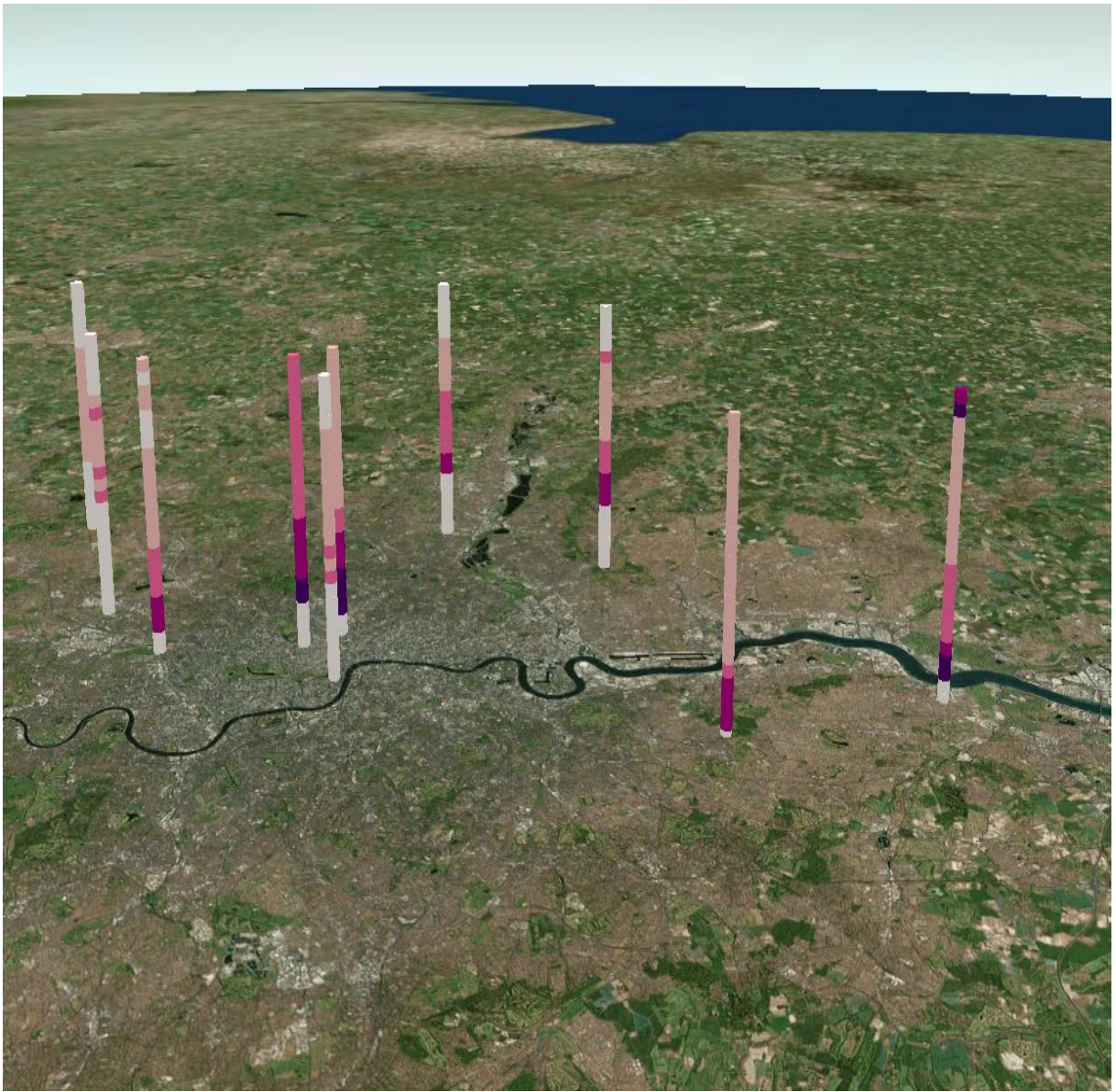
Εικόνα 4.28. Χωροχρονική ανάλυση για το όζον (O₃).



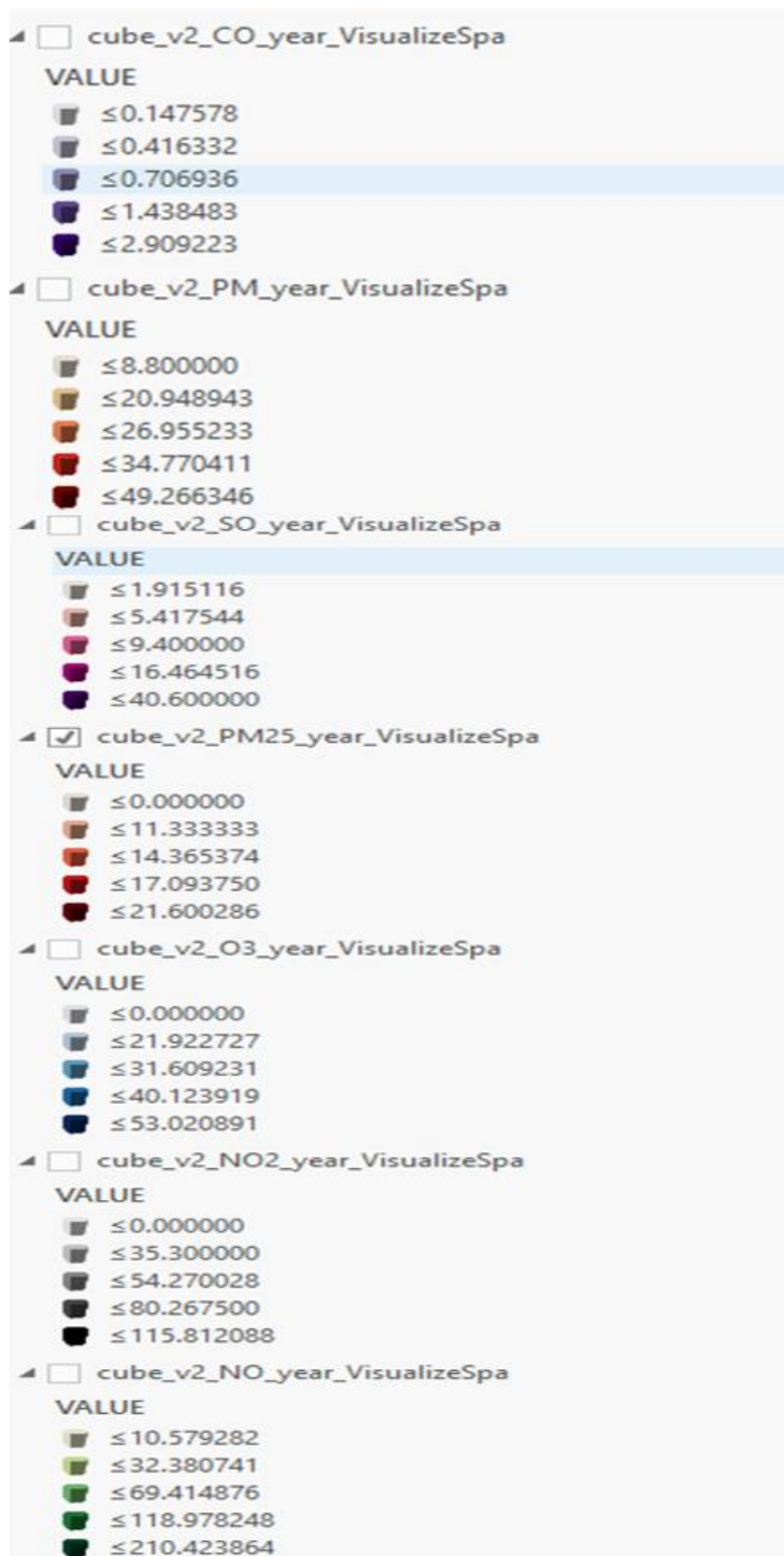
Εικόνα 4.29. Χωροχρονική ανάλυση για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 10).



Εικόνα 4.30. Χωροχρονική ανάλυση για τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM 2,5).



Εικόνα 4.31. Χωροχρονική ανάλυση για το διοξείδιο του θείου (SO₂).



Εικόνα 4.32. Διαχωρισμός των πέντε κλάσεων των τιμών ανά ρύπο.

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση – Συμπεράσματα- Εισηγήσεις

5.1 Συζήτηση

Τα αποτελέσματα από τις χαρτογραφικές αναλύσεις έρχονται σε πλήρη συνάφεια με τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανάλογα με ρύπο και έτος της μελέτης του αστικού μοντέλου του Λονδίνου (Beevers & Danjak, 2015) όπου καταλήγουν σε υψηλές συγκεντρώσεις στον αστικό ιστό λόγω μεταφορών αλλά και οικιστικών και εμπορικών συνηθειών. Έτσι μέσω αυτής της σύγκρισης μπορεί να επαληθευτεί ότι οι πιο έντονες συγκεντρώσεις φαίνεται να αναπτύσσονται σε περιοχές με σιδηροδρομικές μεταφορές, αεροδρόμια, πηγές καύσης πετρελαίου βιομηχανικές διεργασίες και πηγές καύσης άνθρακα.

Στις υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων κατά τα τελευταία έτη στο Λονδίνο λόγω αστικής ανάπτυξης και κυρίως λόγω των μεταφορών, φαίνεται να καταλήγει και η μελέτη του Transport Research Laboratory, που καταλήγει πως τα Αιωρούμενα Σωματίδια στην περιοχή του Λονδίνου προέρχονται κυρίως από φθορά φρένων, από φθορά της επιφάνειας του οδοστρώματος, από φθορά ελαστικών κλπ. Συγκεκριμένα δίνει ποσοστό έως και 30% της εκπομπής των Αιωρούμενων Σωματιδίων να προέρχονται από τέτοιου είδους φθορές στις τυπικές συνθήκες καθημερινής οδήγησης στο Λονδίνο (Boulter, 2005).

Τέλος, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή συνάδει με τα δεδομένα του στρατηγικού σχεδίου αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του Λονδίνου από τον Δήμαρχο του, που κέντρο των μέτρων που λαμβάνει αφορούν τις αστικές μεταφορές. Το σχέδιο περιλαμβάνει οχήματα εξαιρετικά χαμηλών εκπομπών άνθρακα και αντίτιμο οδήγησης στο Λονδίνο για τη μείωση οξειδίων του αζώτου και Αιωρούμενων Σωματιδίων (Mayor of London, 2016).

5.2 Περιορισμοί της Μελέτης

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρουσιάστηκαν κάποιοι περιορισμοί. Αυτοί στην πλειονότητά τους σχετίζονται άμεσα με την ελλιπή διαθεσιμότητα στα δεδομένα, λόγω διακοπών στις μετρήσεις κάποιων σταθμών. Ένας ακόμα περιορισμός προέκυψε από το ότι δεν υπήρχε απόλυτη συμφωνία μεταξύ των σταθμών στους ρύπους που εξέταζαν. Σαν αποτέλεσμα οι περιορισμοί αυτοί είχαν, την επαρκή μεν, αλλά όχι πλήρη κάλυψη της περιοχής του Λονδίνου καθώς και τη δυσκολία διεξαγωγής συμπερασμάτων σε κάποιες περιπτώσεις σταθμών. Ένας ακόμα περιορισμός που προέκυψε είναι πως το ArcGis όντας ένα ιδιωτικό λογισμικό, έκανε κάποια εργαλεία μη επιτρεπτά στην εφαρμογή λόγω κόστους. Τέλος, περιορισμός προέκυψε στην πλήρη αντιπροσώπηση των δεδομένων απεικονιστικά καθώς η ψηφιακή επεξεργασία ελλοχεύει πάντα περιπτώσεις σφάλματος ή στέρηση της άριστης ποιότητας ανάλυσης όσο και αν αυτό επιδιώχθηκε.

5.3 Συμπεράσματα

Σκοπός την συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής ήταν να βοηθήσει στην απεικόνιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως αυτό εξελίσσεται κατά την τελευταία περίπου εικοσαετία στην ευαίσθητη περιοχή του Λονδίνου. Τόσο η χωρική όσο και η χωροχρονική ανάλυση αναλαμβάνουν τον ρόλο ενός είδους αποτίμησης της κατάστασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που επικρατεί στο Λονδίνο στο πως αυτή μειώνεται ή αυξάνεται ανάλογα με την περιοχή, τις χρήσεις γης, τα μέτρα που λαμβάνονται (ειδικά κατά τα τελευταία έτη), τους σύγχρονους τρόπους ζωής αλλά και τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα που συνοδεύουν τις βασικές εποχές του χρόνου (χειμώνα και καλοκαίρι). Για αυτό τον σκοπό καταλληλότερη μέθοδος κρίθηκε η χαρτογράφηση της περιοχής με αναλύσεις των δεδομένων με χρήση λογισμικού GIS.

Η χωρική ανάλυση φέρει ίσως το μεγαλύτερο μέρος της πραγματικής ισχύος του GIS αναλύοντας τα χωρικά δεδομένα μέσω βαθιάς κατανόησης του πως σχετίζονται με άλλα χωρικά δεδομένα ή πληροφορίες. Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή αυτά τα δεδομένα ήταν οι μετρήσεις των ρύπων ανά σταθμό σε σχέση με τις χρήσεις γης και τις εποχιακές διακυμάνσεις. Από μια τέτοιου είδους ανάλυση μπορούν να αποκτηθούν χρήσιμες γνώσεις, να διαμορφωθούν εύστοχες ιδέες και να ληφθούν κατάλληλες

αποφάσεις. Έτσι χρησιμοποιώντας την χωρική παρεμβολή (spatial interpolation) πραγματοποιήθηκε μια γεω-στατιστική ανάλυση. Το εργαλείο Natural Neighbor εμφανίστηκε ιδιαίτερα χρήσιμο για την συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή καθώς λόγω του προαναφερθέντα περιορισμού της έλλειψης συχνών σημείων δειγματοληψίας κρίθηκε πως μέσω τέτοιων εφαρμογών δίνεται έγκυρη λύση στην πρόβλεψη τιμών.

Η χωροχρονική ανάλυση στον ArcGIS Pro, ήταν μια ιδιαίτερα ευχάριστη εμπειρία. Ο Pro έχει τη δυνατότητα εύκολης τρισδιάστατης απεικόνισης πράγμα που καθιστά το περιβάλλον ιδιαίτερα εύχρηστο και το αποτέλεσμα ιδιαίτερα ευκρινές και κατανοητό. Μέσω της χωροχρονικής ανάλυσης έγινε αντιληπτή η ιστορική κατανομή των ρύπων με έναν στατιστικό τρόπο δημιουργώντας μια σύνδεση του παρελθόντος και του παρόντος. Η τρισδιάστατη απεικόνιση βοήθησε πολύ στη διεξαγωγή συμπερασμάτων καθώς η κάθε χρονική πληροφορία πήρε τον δικό της χώρο χωρίς να μπερδεύεται και να συμπίπτει οπτικά με κάποια παλαιότερη ή νεότερη της. Επίσης συνθέτοντας ένα τοπίο από όλα τα σημεία δειγματοληψίας σε όλες τις χρονικές στιγμές μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια ευθεία σύγκριση χωρίς να χρειάζεται να ανοίξουν παράλληλες εικόνες και χωρίς να απαιτείται μεταφορά από ένα περιβάλλον σε άλλο.

Από τις χαρτογραφικές αναλύσεις που προέκυψαν φαίνεται πως η περιοχή του Λονδίνου παρά τα όσα μέτρα έχουν ληφθεί εξακολουθεί να είναι μια περιοχή ιδιαίτερος ευαίσθητη στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Ο πιο έντονα διαφοροποιημένος ρύπος από όσους εξετάστηκαν είναι το όζον (O_3). Διαφοροποιήσεις παρατηρήθηκαν ανάμεσα στην καλοκαιρινή και την χειμερινή περίοδο με την καλοκαιρινή περίοδο να φαίνεται ότι συσσωρεύει εντονότερα τον ρύπο, σε ανησυχητικό επίπεδο. Ακόμα μια διαφοροποίηση του όζοντος είναι πως αντί να ακολουθεί την ροή των περισσότερων ρύπων και να συγκεντρώνεται πυκνότερα στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές, εμφανίζεται σε υψηλότερα επίπεδα σε αγροτικές περιοχές, αρκετά αποκεντρωμένες από τον πυρήνα του Λονδίνου.

Οι υπόλοιποι ρύποι φαίνεται να ακολουθούν αυξομειώσεις μέσα στο πέρας των χρόνων οπότε και έως να σταθεροποιηθούν σε μια πτωτική πορεία δεν μπορεί να ερμηνευτεί πως παρατηρείται η κατάσταση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή του Λονδίνου να βελτιώνεται ουσιαστικά. Γενικότερα όμως μέσω της χωροχρονικής ανάλυσης και της συσχέτισης με τις χρήσεις γης, παρατηρήθηκε πτωτική τάση στην πλειονότητα των σημείων δειγματοληψίας συγκεντρώνοντας τα υψηλότερα επίπεδα, όπως ήταν αναμενόμενο, σε περιοχές αστικού ιστού υψηλής κυκλοφορίας.

Εξαιρούμενες στην πτωτική πορεία ήταν οι μετρήσεις σε περιοχές που πλησίαζαν βιομηχανικές ζώνες και έδειξαν τις πιο υψηλές μετρήσεις κάτι που ήταν επίσης αναμενόμενο αφού σε συνδυασμό με την έντονη κυκλοφορία κοντά σε αυτές τις περιοχές και την κίνηση και βαρέων οχημάτων η επιβάρυνση φέρνει αυξητικές τάσεις.

Τα ευρήματα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής συνάδουν πλήρως με τα δεδομένα των τελευταίων ετών για την περιοχή του Λονδίνου και δεν παρατηρήθηκε κάποια έντονη διαφοροποίηση. Τα αποτελέσματα φέρνουν στο συμπέρασμα ότι το Λονδίνο παρουσιάζοντας ανά έτη τόσο υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων πρέπει να είναι μια περιοχή υψηλού και διαρκούς ελέγχου σε συνδυασμό με την πλήρη εφαρμογή στόχων και μέτρων μείωσης των ρύπων.

5.5 Εισηγήσεις

Οι παραγόμενοι από ανθρώπινες δραστηριότητες ρύποι είναι ένα ζήτημα που μπορεί να αντιμετωπισθεί με μέτρα και κανονισμούς που προβλέπει η διοίκηση της χώρας αλλά και του δήμου. Βασικό μέλημα της ευρύτερης περιοχής του Λονδίνου αλλά και ολόκληρου του Ηνωμένου Βασιλείου θα πρέπει να είναι η συνέχιση των μέτρων και των ελέγχων όπως αυτοί είχαν προβλεφθεί από τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μετά την πρόσφατη έξοδο της χώρας από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ανησυχία προκαλεί το πως θα χειριστεί η εκάστοτε διοικητική αρχή το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του ελέγχου των ρύπων σε εξαιρετικά πληγείσες περιοχές. Κύριος στόχος θα πρέπει να αποτελεί τόσο η ευαισθητοποίηση του κοινού μέσω ενημέρωσης και εκπαίδευσης του όσο και η στροφή της κοινωνίας προς την αειφορία και τη δημιουργία συνθηκών χαμηλών εκπομπών ρύπων. Η ορθή εφαρμογή και η συνεχής ενημέρωση του εθνικού σχεδίου δράσης μπορεί να οδηγήσει τόσο στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στην περιοχή του Λονδίνου όσο και στην ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών.

Βιβλιογραφία

- Laybourn-Langton, L., Quilter-Pinner, H. & Ho, . H., 2016. *Lethal and Illegal - Solving London's Air Pollution Crisis*, London: IPPR.
- Analitis, A. et al., 2006. Short-Term Effects of Ambient Particles on Cardiovascular and Respiratory Mortality. *Epidemiology*, 17(2), pp. 230-233.
- Beevers, S. & Danjak, D., 2015. *Air Pollution Model - KCLurban model description, evaluation and outputs.*, London: King's College London.
- Bell, M. L., Davis, D. L. & Fletcher, T., 2008. A Retrospective Assessment of Mortality from the London. In: *Urban Ecology*. s.l.:Springer, p. 264.
- Blyth, A. et al., 2008. *SPATIAL ANALYSIS AND MODELING*, s.l.: Malaspina University-College.
- Boulter, P. G., 2005. *A review of emission factors and models for road vehicle non-exhaust particulate matter - TRL Project Report for DEFRA*, s.l.: TRL.
- Brebbia, C. & Longhurst, J., 2008. *Air Pollution XVI*. s.l.:WIT Press.
- Brunekreef, B. & Holgate, S., 2002. Air pollution and health. *Lancet*, Issue 9341, p. 1233.
- CAA, 2005. Clean Air Act. In: *Definitions*. s.l.:United States Environmental Protection Agency, p. 5632.
- Campbell, S., 1983. *Sampling and Analysis of Rain*. Baltimore: ASTM.
- Chang, K. T., 2006. *Introduction to Geographic Information Systems*, s.l.: McGraw-Hill.
- Cody, R. P., Weisel, C. P., Bimbaum, G. & Lioy, P. J., 1992. The effect of ozone associated with summertime photochemical smog on the frequency of asthma visits to hospital emergency departments. In: *Environmental Research*. s.l.:Elsevier, pp. 184-194.
- Cohen , A. et al., 2005. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *Toxicol Environment*, A(68), p. 1301.
- DAERA, 2012. *Department of Agriculture, Environment and Rural Affairs*. [Online]
Available at:
http://www.airqualityni.co.uk/assets/documents/20120308_20060221_UKAIRPOLLUTION.pdf
[Accessed 17 May 2017].
- Dajani, J. S., Jett, T. H. & Vesilind, P. A., 1977. Air Pollution Control Through Land-Use Planning. In: *Urban Systems*. s.l.:Pergamon Press, pp. 35-43.
- Dawson, B. & Spannagle, M., 2009. *The Complete Guide to Climate Change*. s.l.:Routledge, Taylor & Francis Group.
- DEFRA, 2015. *Department for Environment Food & Rural Affairs*. [Online]
Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/2010-to-2015-government-policy-environmental-quality/2010-to-2015-government-policy-environmental-quality#appendix-5>

international-european-and-national-standards-for-air-quality

[Accessed 20 May 2017].

EEA, 1995. *CORINE Land Cover*, s.l.: European Commission.

EEA, 2000. *CORINE Land Cover - Technical Guide*, s.l.: European Commission.

EEA, 2014. *Air pollution fact sheet 2014 - United Kingdom*, s.l.: European Environment Agency.

EPA, 1999. *Nitrogen Oxides (NOx), Why and How They Are Controlled*, North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency.

Esri, 2016. *Create Space Time Cube*. [Online]

Available at: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/space-time-pattern-mining-toolbox/create-space-time-cube.htm>

[Accessed 06 13 2017].

EUR-Lex, 1985. Legislation. *Official Journal of the European Communities*, 28(176), pp. 14-15.

EUR-Lex, 2005. *Thematic Strategy on air pollution*. [Online]

Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex:52005DC0446>

[Accessed 16 May 2017].

European Commission, 2016. *Environment*. [Online]

Available at: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

[Accessed 16 May 2017].

European Commission, 2010. *Air quality: Commission sends final warning to UK over levels of fine particle pollution*. [Online]

Available at: file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Temp/IP-10-687_EN.pdf

[Accessed 17 May 2017].

European Commission, 2016. *Air Quality - Existing Legislation*. [Online]

Available at: http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/existing_leg.htm

[Accessed 16 May 2017].

European Union, 2001. *Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants.*, s.l.: Official Journal of the European Communities.

European Union, 2004. *DIRECTIVE 2004/107/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air*, s.l.: Official Journal of the European Union.

European Union, 2008. *DIRECTIVE 2008/50/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, on ambient air quality and cleaner air for Europe*, s.l.: Official Journal of the European Union.

European Union, 2016. *Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC*, s.l.: Official Journal of the European Union.

Finlayson-Pitts, B. & Pitts, J., 1986. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*. s.l.:John Wiley & Sons, Inc.

Folkestad, T. et al., 2006. Evidence and Implications of Dangerous Climate Change in the Arctic. In: *Avoiding Dangerous Climate Change*. s.l.:Cambridge University Press, pp. 215-217.

Greater London Authority , 2015. *Mayor of London, London Assembly*. [Online]

Available at:

[file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Temp/London%20Plan%20March%202015%20\(FALP\)%20-%20Ch5%20London's%20Response%20to%20Climate%20Change.pdf](file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Temp/London%20Plan%20March%202015%20(FALP)%20-%20Ch5%20London's%20Response%20to%20Climate%20Change.pdf)

[Accessed 20 May 2017].

Greater London Authority, 2012. *Air Quality Information for Public Health*. [Online]

Available at:

https://www.london.gov.uk/sites/default/files/air_quality_for_public_health_professionals_-_city_of_london.pdf

[Accessed 20 May 2017].

Hardy, J. T., 2003. *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. s.l.:John Wiley & Sons.

Heywood, I., Cornelius, S. & Carver, S., 2002. *An Introduction to Geographical Information Systems*, s.l.: Pearson Education.

IPCC, 2008. *Climate Change 2007 - Synthesis Report*, s.l.: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2015. *Climate Change 2014 Synthesis Report*, s.l.: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Iribarne, J. V. & Godson, W., 1981. *Atmospheric Thermodynamics*. s.l.:Springer.

Jackson, M., 2001. Strong Radiative Heating due to the Mixing State of Black Carbon in Atmospheric Aerosols. *Nature*, Volume 409, pp. 695-697.

Jacob, W., 1999. *Introduction to Atmospheric Chemistry*. New Jersey: Princeton University Press.

Karas, J., 2006. *CLIMATE CHANGE AND THE MEDITERRANEAN REGION*. [Online]

Available at: <https://secured-static.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2006/3/climate-change-and-the-mediter.pdf>

[Accessed 24 May 2017].

Knox, K. J., 2011. *Light-Induced Processes in Optically-Tweezed Aerosol Droplets*. s.l.:Springer.

Koch, T., 2004. The map as intent - Variations on the theme of John Snow. *CARTOGRAPHICA*, 39(4), pp. 2-14.

Mayor of London, 2015. *London's Living Spaces and Places*, s.l.: London Assembly.

Mayor of London, 2016. *Transport for London*. [Online]

Available at: https://consultations.tfl.gov.uk/environment/air-quality-consultation-phase-two/user_uploads/consultation-information-document.pdf

[Accessed 20 May 2017].

- McKinney, M. L., Schoch, R. M. & Yonavjak, L., 2007. *Environmental Science: Systems and Solutions*. 4th ed. s.l.:Jones and Bartlett.
- McPhaden, M., Zebiak, S. & Glantz, M., 2006. ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*, Volume 314, pp. 1740-1745.
- Nicholls, R. J. & Lowe, J. A., 2006. Climate stabilisation and impacts of sea-level. In: *Avoiding Dangerous Climate Change*. s.l.:Cambridge University Press.
- NOOA, 2010. *National Centers for Environmental Information*. [Online] Available at: <https://www.ncddc.noaa.gov/activities/healthy-oceans/gis/index.html> [Accessed 29 May 2017].
- Parry, M. L. et al., 2004. *Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios*. s.l.:Elsevier.
- Petroff, A., Mailiat, A., Amielh, M. & Anselmet, F., 2008. Aerosol dry deposition on vegative canopies. Part II: A new modelling approach and applications,. In: *Atmospheric Environment*. s.l.:Elsevier, pp. 3654-3683.
- Pierrehumbert, R. T., 2010. *Principles of Planetary Climate*. New York: Cambridge University Press.
- Rhind, D. W. & Hudson, R., 1980. *Land Use*, London: Methuen.
- Ribby, P. R. & Shepherd, J. W., 1999. *Monitoring land cover and land use for urban and regional planning*, s.l.: The University of Edinburgh.
- Sadiku, M. N., Tembely, M. & Musa, S. M., 2017. Geographic Information Systems: A Primer. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 7(3), pp. 1-2.
- Sanchez-Reyna, G. R., Wang, K. Y., Gallardo, J. C. & Shallcross, D. E., 2005. Association between PM10 concentrations and wind direction. In: *Atmospheric Science Letters*. s.l.:Royal Meteorological Society, pp. 204-210.
- Sandström, T., 1995. Respiratory effects of air pollutants:experimental studies in humans. *European Respiratory Journal*, Volume 8, pp. 976-995.
- Schlesinger, W., 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. California: Academic Press.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N., 2006. *Atmospheric chemistry and physics - From Air Pollution to Climate Change*. 2nd ed. s.l.:John Wiley & Sons, Inc.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N., 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 2nd ed. s.l.:Wiley.
- Sibson, R., 1981. A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. In: *Interpolating Multivariate Data*. New York: John Wiley & Sons, pp. 21-36.
- Small, C. & Nicholls, R. J., 2003. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. *Journal of Coastal Resources*, Issue 19, pp. 584-599.

- Soden, B. & Held, M., 2006. An assessment of Climate Feedbacks in Coupled Ocean Atmosphere Models. *Journal of Climate*, Issue 16.
- Steffen , W., Richardson, K. & Liverman, D., 2006. *Approaches to Defining Dangerous Climate Change: An Australian Perspective*. s.l.:Cambridge University Press.
- Terzano, C. et al., 2010. Air pollution ultrafine particles: toxicity beyond the lung. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, Volume 21, p. 809.
- UNECE, 1999. *PROTOCOL TO THE 1979 CONVENTION ON LONG-RANGE TRANSBOUNDARY AIR POLLUTION TO ABATE ACIDIFICATION, EUTROPHICATION AND GROUND-LEVEL OZONE*, s.l.: UNECE.
- van Lanen, H. A., Tallaksen, L. M. & Rees, G., 2007. *Droughts and climate change*, s.l.: Commission of the European Communities.
- Villacampa, A. & Hedayati, N., 2013. *Tale of two cities: urban planning for the 21st century eco-metropolis*. s.l.:Wit Press.
- Walton, H. et al., 2015. *Understanding the Health Impacts of Air Pollution in London*, King's College London.. London: King's College London.
- WHO, 2016. *Ambient air pollution - A global assessment of exposure and burden disease*. Geneva: WHO Document Production Services.
- Γεντεκάκης, Ι., 2003. *Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες*. 18 ed. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.
- Κατσαφάδος, Π., 2010. Η Κλιματική Αλλαγή. *ΓΕΩΓΡΑΦΙΕΣ*, Issue 17, pp. 3-4.
- Κουϊμτζή , Θ., Σαμαρά - Κωνσταντίνου, Κ. & Φυτιάνου, Κ., 1998. *Χημεία Περιβάλλοντος*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Λαζαρίδης , Μ., 2005. *Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας*. Θεσσαλονίκη : Τζιόλα.
- Λουκάς, Α. & Γκιάλης, Σ., 2007. *Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών: Βασικές Έννοιες, Δεδομένα, Σχεδιασμός και Διεθνής Εμπειρία*. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Ξενάκη, Σ. & Χανιώτη, Λ.-Β., 2004. *Διασπορά και εναπόθεση αέριων ρύπων*, Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Φυτιάνος , Κ. & Σαμαρά - Κωνσταντίνου, Κ., 2009. *Χημεία Περιβάλλοντος*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.