

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΕΝΝΗΣΕΩΝ/ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Χρήστος Πανίτσας¹, Στέλλα Μανίκα¹

¹Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

email: std115812@ac.eap.gr, manika.stella@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να επιτύχει να συσχετίσει μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών τους ατμοσφαιρικούς ρύπους με τη διακύμανση των γεννήσεων/θανάτων. Η γεωγραφική κατανομή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των γεννήσεων/θανάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των ΓΣΠ, διότι είναι το πλέον κατάλληλο πρόγραμμα για την παραγωγή και παρουσίαση χαρτών χωρικής κατανομής για μια δεδομένη περιοχή. Η συλλογή των δεδομένων αφορά κλιματολογικά δεδομένα και δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα οποία προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ). Στη συνέχεια, ελήφθησαν τα δωρεάν δεδομένα που αφορούν τις γεννήσεις και τους θανάτους στη χώρα μας από τον ιστότοπο της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ). Αντίστοιχα, ορισμένα γεωδομημένα που αφορούν τις συντεταγμένες των σταθμών μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς και τα γεωγραφικά όρια των εξεταζόμενων περιοχών λήφθηκαν από τον ιστότοπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). Τα ανωτέρω δεδομένα εισήχθησαν και επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα ArcGIS και παρουσιάζονται χάρτες που απεικονίζουν τόσο τα δεδομένα ξεχωριστά όσο και σε συνδυασμό ώστε να πετύχουμε τον συσχετισμό γεννήσεων/θανάτων με την ατμοσφαιρική ρύπανση στην επιλεγόμενη περιοχή μελέτης.

Λέξεις κλειδιά: Γεωπληροφορικά συστήματα πληροφοριών, χωρική κατανομή, ατμοσφαιρική ρύπανση, γεννήσεις, θάνατοι.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to successfully relate the variance in births and deaths to air pollution using geographical information systems (GIS). Since GIS is the best suite for the creation and presentation of spatial distribution maps for a specific area, it was used to process the data for the geographical distribution of air pollution and births/deaths. The Hellenic National Meteorological Service provided the data for the collection, which include climate data and air pollution data (HNMS). Then, the data concerning births and deaths in our country were obtained from the website of the Hellenic Statistical Authority (HSA). Accordingly, certain geodata concerning the coordinates of the air pollution measurement stations as well as the geographical limits of the examined areas were obtained from the website of the Ministry of the Environment and Energy (YPEN). To achieve the correlation of births/deaths with air pollution in the selected study area, the aforementioned data were imported, analyzed, and displayed on maps using the ArcGIS software.

Keywords: GIS, spatial distribution, air pollution, births, deaths.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα των τελευταίων δεκαετιών ειδικά σε αναπτυγμένες αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (2018), η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα φαινόμενο το οποίο προκαλείται όταν υπάρχουν συγκεκριμένες ουσίες στην ατμόσφαιρα και σε τέτοια συγκέντρωση, με αποτέλεσμα να προκαλούνται μακροπρόθεσμα αρνητικές συνέπειες τόσο στην υγεία των ζώντων οργανισμών όσο και καταστροφές σε τεχνικά έργα και υλικές κατασκευές γενικά.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισε να γίνεται πιο αισθητό κατά τα 40 τελευταία περίπου χρόνια. Οι λόγοι της αύξησης της συγκέντρωσης των ρύπων στον ελλαδικό χώρο σχετίζονται με την αστικοποίηση του πληθυσμού της χώρας σε συνδυασμό με την οικονομική ανάπτυξη που παρουσίαζε σταδιακά μέσα στο προαναφερθέν χρονικό διάστημα.

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκαν τα οξειδία του αζώτου, το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον όσον αφορά τη στατιστική ανάλυση των συγκεντρώσεών τους και όσον αφορά τη γεωγραφική τους εξάπλωση. Οι ρύποι αυτοί επιλέχθηκαν λόγω της σημασίας της παρακολούθησής των μεταβολών των συγκεντρώσεών τους καθώς και εξαιτίας της πληρότητας των δεδομένων που υπήρχαν διαθέσιμα με σκοπό την επεξεργασία και τη χωρική κατανομή τους.

Τα οξειδία του αζώτου NO_x (NO και NO_2) είναι τα πιο επικίνδυνα και θεωρούνται σημαντικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) θεωρείται πρωτογενής ρύπος που προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρελαίου, βενζίνης, γαιάνθρακα, φυσικού αερίου κτλ.) που συντελείται κυρίως στα αυτοκίνητα, στις κεντρικές θερμάνσεις, και στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσα σε

ένα διάστημα μερικών λεπτών, το μονοξείδιο του αζώτου (NO) οξειδώνεται στον αέρα από το ατμοσφαιρικό όζον (O_3) και προκύπτει ως δευτερογενείς ρύπος το διοξείδιο του αζώτου (NO_2). Οι εκπεμπόμενες ποσότητες του μονοξειδίου του αζώτου (NO) γίνονται πιο μεγάλες όσο πιο έντονες είναι οι συνθήκες της καύσεως (καύση σε υψηλές θερμοκρασίες) (Παρταλίδου, 2018; Χριστοφορίδου, 2014). Αξίζει να αναφερθεί ότι η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων NO_2 εμφανίζεται κυρίως σε πόλεις καθώς σχετίζεται με αστικές δραστηριότητες. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις φαίνονται να αυξάνονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες διότι σχετίζεται και με την ηλιακή ενέργεια. Από τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο θεωρείται το πιο επικίνδυνο ως ατμοσφαιρικός ρύπος (Μελάς, 2007).

Σχετικά με το όζον (O_3), η παραγωγή του 90% του ολικού όζοντος της ατμόσφαιρας της γης γίνεται στην στρατόσφαιρα (15-50 km) ενώ το υπόλοιπο 10% εμφανίζεται στην τροπόσφαιρα (0-15 km). Στο χαμηλότερο κομμάτι της στρατόσφαιρας (19 έως 23 km) βρίσκεται η στιβάδα του όζοντος η οποία αποτελείται από τη μεγαλύτερη ποσότητα όζοντος. Το όζον είναι ένας δευτερογενής ρύπος καθώς δεν εκπέμπεται άμεσα στην ατμόσφαιρα αλλά παράγεται μετά από διάφορες χημικές αντιδράσεις άλλων ρύπων, όπως διοξειδίων του αζώτου (NO_2) και πτητικών οργανικών ενώσεων με το οξυγόνο (O_2) και τη συμμετοχή της ηλιακής ακτινοβολίας (Χριστοφορίδου, 2014). Οι ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής των ρύπων που θα οδηγήσουν στη δημιουργία του όζοντος είναι τα οχήματα, οι χωματερές, τα χημικά εργοστάσια, τα χημικά διαλυτικά, ακόμα και μικρότερες πηγές όπως τα βενζινάδικα. Το όζον είναι ικανό να επηρεάσει τη ζωή στη γη είτε θετικά είτε αρνητικά, και αυτό εξαρτάται από το πού βρίσκεται στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εξάπλωση των ρύπων είναι πολύ σημαντικό ζήτημα καθώς είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε ποιες περιοχές επηρεάζονται από κάθε ρύπο ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης των επιπτώσεων της αυξημένης συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων στην ατμόσφαιρα της εκάστοτε περιοχής. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση της χωρικής κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων NO, NO₂ και O₃ στην περιοχή μελέτης. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η περιοχή της Αθήνας καθώς αποτελεί πρωτεύουσα της χώρας και το μεγαλύτερο αστικό κέντρο στο οποίο είναι η απαραίτητη η παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Επιπλέον, στην περιοχή της Αθήνας βρίσκεται ένα σχετικό πυκνό δίκτυο με σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης το οποίο είναι σημαντικό γιατί ικανοποιεί και το κριτήριο που αφορά την πληρότητα των διαθέσιμων δεδομένων. Επιπλέον, ως το μεγαλύτερο αστικό κέντρο και πρωτεύουσα της χώρας είναι σημαντική η ανάλυση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς από αυτή επηρεάζονται εκατομμύρια κάτοικοι. Η εργασία επίσης πραγματεύεται και τη συσχέτιση των θανάτων και των γεννήσεων στην περιοχή της Αθήνας με τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Τα αρχικά δεδομένα (ατμοσφαιρικοί ρύποι, πληθυσμιακά στοιχεία) έπρεπε να επεξεργαστούν σε υπολογιστικά φύλλα ώστε να πάρουν την κατάλληλη μορφή για να εισαχθούν στο πρόγραμμα GIS. Τα δεδομένα των ρύπων ήταν ανά «ώρα» και έπρεπε να μετατραπούν σε μέσες τιμές ανά «μήνα» και ανά «έτος» ώστε να μπορούν να συμφωνήσουν με τα αντίστοιχα πληθυσμιακά στοιχεία που ήταν ετήσια. Στη συνέχεια, τα πληθυσμιακά στοιχεία δεν ήταν ομοιόμορφα σε όλα τα έτη λόγω των αλλαγών που έγιναν μέσω του «Καλλικράτη». Αρχικός στόχος ήταν να πραγματοποιηθεί η γεωγραφική κατανομή

σε όλη την Ελληνική επικράτεια, όμως ενώ είναι διαθέσιμα τα πληθυσμιακά στοιχεία για όλη την Χώρα, δεν υπάρχουν σταθμοί που να δίνουν στοιχεία των ατμοσφαιρικών ρύπων σε όλη την Χώρα είτε αριθμητικά είτε σε καλή χωρική κατανομή ώστε να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα τους. Για αυτό το λόγο η αναλυτική χωρική κατανομή έγινε για την περιοχή της Αττικής

Ως τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζονται τόσο τα στατιστικά στοιχεία γεννήσεων και θανάτων για την περιοχή μελέτης αλλά και τα στατιστικά στοιχεία όσον αφορά τις συγκεντρώσεις των ρύπων NO, NO₂ και O₃ και με τη μορφή πινάκων αλλά και με τη μορφή χαρτών. Ο συνδυασμός της χωρικής κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και των στοιχείων που αφορούν τον συνολικό αριθμό γεννήσεων και θανάτων μας βοηθούν να κατανοήσουμε καλύτερα την επίδραση των υψηλών συγκεντρώσεων στην υγεία των κατοίκων.

Τα στατιστικά στοιχεία που λήφθηκαν από τον επίσημο ιστότοπο της ΕΛΣΤΑΤ, αφορούν τις γεννήσεις και τους θανάτους που έχουν καταγραφεί ανά Δήμο και Νομό, για διάφορα έτη. Η χρονική περίοδος που έγινε η διερεύνηση αφορά τα έτη 2016-2020. Τα δεδομένα αντλήθηκαν σε μορφή υπολογιστικών φύλλων (excel).

Τα δεδομένα που αφορούν την ατμοσφαιρική ρύπανση βρίσκονται σε μορφή dat. και αφορούν σταθμούς μέτρησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που βρίσκονται διάσπαρτοι εντός των συνόρων της χώρας. Τα διαθέσιμα δεδομένα, λόγω του μεγάλου όγκου που καλύπτουν, επεξεργάστηκαν με διαφορετικούς τρόπους με σκοπό την παρουσίαση και την αξιολόγησή τους. Τα δεδομένα είτε σε μονάδα χρόνου ανά «ώρα» και μετατράπηκαν σε μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες, για να συμφωνούν με τα ετήσια πληθυσμιακά στοιχεία. Τα αρχεία περιέχουν ωριαίες τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων και είναι χωρισμένα ανά 24ωρο για κάθε ημέρα όλων των μηνών κάθε χρόνου για μια σειρά

ετών. Στις περιπτώσεις που λόγω προβλημάτων κάποιες μετρήσεις δεν καταγράφηκαν, στο αρχείο στη θέση της αυτών των μετρήσεων που δεν ελήφθησαν αναγράφεται η ένδειξη «-9999». Οι τιμές αυτές απορρίφθηκαν. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων ανά μήνα και ανά έτος για κάθε ρύπο. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας επιλέχθηκαν τα δεδομένα που αφορούν τη χρονική περίοδο 2016-2020 λόγω της πληρότητας που παρουσίαζαν οι μετρήσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων καθώς και των γεννήσεων και θανάτων που ελήφθησαν από την ΕΛΣΤΑΤ.

Για την εργασία έπρεπε να βρεθούν τα εξής δεδομένα:

- Θέσεις σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων
- Τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων
- Μετεωρολογικά στοιχεία
- Ετήσιες γεννήσεις ανά Νομό/Περιφέρεια
- Ετήσιοι θάνατοι ανά Νομό/Περιφέρεια

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν κυρίως σε ψηφιακή μορφή, υπολογιστικών φύλλων (excel). Έτσι η επεξεργασία τους ήταν εύκολη ως προς την μεθοδολογία αλλά δύσκολη λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων και των πράξεων που έπρεπε να πραγματοποιηθούν.

Η ψηφιακή μορφή των δεδομένων ήταν εύχρηστη και κατά την διαδικασία εισαγωγής τους στο GIS, αναφέρεται αναλυτικά παρακάτω. Λόγω του στόχου να καλυφθεί όλη η Ελληνική επικράτεια αντιλαμβανόμαστε και τον όγκο των δεδομένων, αν λάβουμε υπόψη μας ότι όλες οι διαδικασίες γίνανε για ένα χρονικό εύρος 2016-2020.

Από τα δεδομένα των ρύπων, επιλέχθηκαν οι ρύποι που είχαν την μεγαλύτερη πληρότητα και μπορούσαμε να τα χρησιμοποιήσουμε σε όλη τη περιοχή μελέτης και για όλα τα έτη που εξετάστηκαν.

Τα πληθυσμιακά στοιχεία των γεννήσεων και των θανάτων εισήχθησαν κατά απόλυτους αριθμούς και δεν υπήρξε

περαιτέρω επεξεργασία ως προς το φύλλο, την ηλικία, την αιτία θανάτου ή κάποιο άλλο επιπλέον στοιχείο, διότι ο στόχος είναι ο συσχετισμός και η μεθοδολογία της χωρικής κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων με τις γεννήσεις και τους θανάτους. Από ιατρικής πλευράς πιθανότατα θα μπορούσε να γίνει κάποια επιπλέον προεργασία.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - G.I.S.) δημιουργήθηκαν ως εξέλιξη των παραδοσιακών χαρτών που απεικονίζουν τη γήινη επιφάνεια εξαιτίας της ανάγκης για συστηματική καταγραφή, ταξινόμηση και διάθεση όλων των στοιχείων που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης (Χαλκιάς, 2006). Τα ΓΣΠ μπορούν να θεωρηθούν ως πακέτα λογισμικών τα οποία στοχεύουν στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών (εισαγωγή, αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση, διαχείριση, μετασχηματισμό και παρουσίαση δεδομένων) που συνδέονται είτε άμεσα είτε έμμεσα με τη γεωγραφική πληροφορία (Ευελπίδου και Αντωνίου, 2015; Κάβουρας κ.ά., 2015).

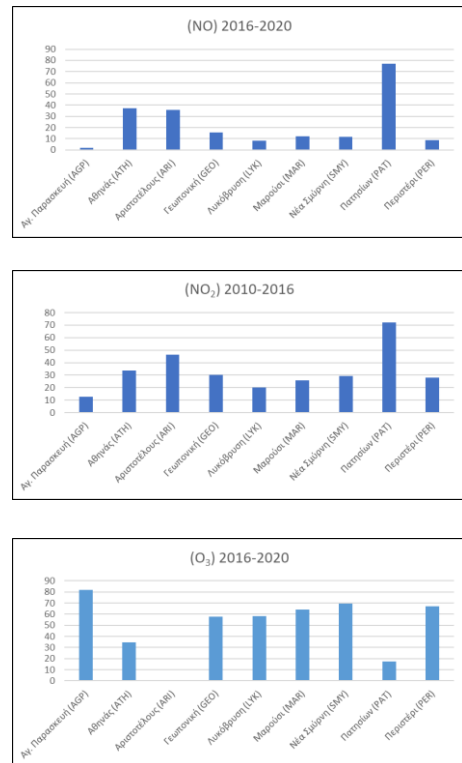
Τα ΓΣΠ μπορούν να διαχειριστούν πολλά είδη δεδομένων και σύνθετων χωρικών πληροφοριών καθώς χρησιμοποιούν ποικίλες μαθηματικές μεθόδους ώστε να παράγουν αποτελέσματα χαρτών καθώς και γραφημάτων και στατιστικών στοιχείων. Τα ΓΣΠ προσφέρουν διάφορες μεθόδους στατιστικής επεξεργασίας και χωρικής παρεμβολής. Η χωρική παρεμβολή αποσκοπεί στον υπολογισμό των τιμών των εξεταζόμενων μεταβλητών στα σημεία στα οποία δεν υπάρχουν μετρήσεις στο χώρο. Η πιο γνωστή μέθοδος χωρικής παρεμβολής είναι η μέθοδος IDW (Inverse Distance Weighting) ή αλλιώς σταθμισμένη παρεμβολή αντίστροφης απόστασης. Είναι μία μαθηματική (ντετερμινιστική) μέθοδος που βασίζεται στην υπόθεση ότι οι πιο

κοντινές τιμές μιας μεταβλητής σχετίζονται περισσότερο από άλλες τιμές με τη συνάρτησή της. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει το ύψος μιας συνεχούς επιφάνειας (z) σε μία θέση ως συνάρτηση της απόστασης (d) από γειτονική σημεία στα οποία έχει πραγματοποιηθεί δειγματοληψία. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί κάποια στάθμιση των τιμών αυτών από τα σημεία δειγματοληψίας ανάλογα με την απόσταση. Τα σημεία για τα οποία είναι ζητούμενο να υπολογιστεί η τιμή της εκάστοτε μεταβλητής θα επηρεαστούν περισσότερα από τα σημεία δειγματοληψίας τα οποία βρίσκονται πιο κοντά τους και λιγότερο από τα πιο απομακρυσμένα σημεία με γνωστές τιμές (Ηλιοπούλου, 2016; Νικολακόπουλος κ.ά., 2015).

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η περιοχή της Αθήνας διότι αποτελεί πρωτεύουσα της χώρας και το μεγαλύτερο αστικό κέντρο, διαθέτει τον μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων στη χώρα και είναι αρκετά πυκνοκατοικημένη περιοχή καθώς και ένα πυκνό εγκατεστημένο δίκτυο παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα δεδομένα από κάθε εξεταζόμενο ρύπο επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα excel. Η ανάλυση περιλαμβάνει τον υπολογισμό των μέσων μηνιαίων τιμών για κάθε ρύπο και έτος από το 2016 έως και το 2020, και την παραγωγή των αντίστοιχων διαγραμμάτων στα οποία διαφαίνονται οι μηνιαίες διακυμάνσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων για κάθε σταθμό την περιοχή μελέτης. Επιπλέον υπολογίστηκε η μέση ετήσια συγκέντρωση κάθε ρύπου ανά σταθμό ελέγχουν καθώς και η μέση καταγραφόμενη συγκέντρωση για τη χρονική περίοδο 2016-2020.

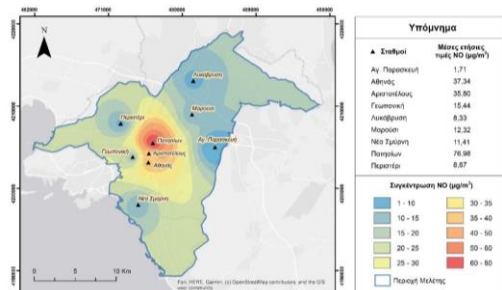


Εικόνα 1. Διαγράμματα της μέσης συγκέντρωσης των ετήσιων τιμών NO, NO₂, O₃ για τη χρονική περίοδο 2016-2020.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση των συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων NO, NO₂ και O₃ και συγκεκριμένα στη χωρική τους κατανομή στην περιοχή μελέτης (Αθήνα) με τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής IDW (Inverse Distance Weighting) ή αλλιώς μέθοδος σταθμισμένης αντίστροφης απόστασης μέσω του προγράμματος ArcGIS.

Για την ανάλυση του ατμοσφαιρικού ρύπου NO και NO₂ χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δεδομένα από 9 σταθμούς ενώ για τον ρύπο O₃ υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από 8 σταθμούς. Από την παρατήρηση του χάρτη χωρικής κατανομής των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων NO διαπιστώνουμε ότι η συγκέντρωσή του είναι αισθητά αυξημένη στο κέντρο της πόλης ενώ σταδιακά υπάρχει μια μείωση της συγκέντρωσης όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς τα περιφερειακά τμήματα. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρουσιάζονται στους σταθμούς Πατισίων, Αριστοτέλους και Αθηνάς με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 35 έως και 80μg/m³. Οι υπόλοιποι σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται

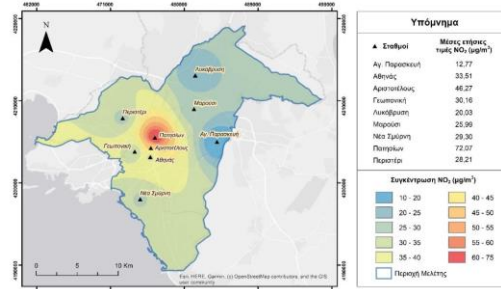
γύρω από το κέντρο στα πιο περιφερειακά τμήματα της πόλης παρουσιάζουν αρκετά χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης που κυμαίνεται από 1 έως και $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι πιο σημαντικοί λόγοι στους οποίους οφείλεται η αυξημένη συγκέντρωση NO στο κέντρο της πόλης ιδιαίτερα στην περιοχή των Πατησίων είναι μεγάλη κυκλοφοριακή κίνηση και το γεγονός ότι πρόκειται για μια πυκνοκατοικημένη περιοχή. Οι εκπομπές επομένως προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα οχήματα καθώς και από τα συστήματα θέρμανσης των κατοικιών. Σημειώνεται ότι οι συγκεντρώσεις του NO στα περιφερειακά τμήματα οφείλεται και στο ότι το NO μπορεί και οξειδώνεται πιο γρήγορα σε NO_2 .



Εικόνα 2. Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του ρύπου NO για τη χρονική περίοδο 2016-2020 με τη μέθοδο IDW.

Αντίστοιχα, από την παρατήρηση του χάρτη χωρικής κατανομής των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων NO_2 διαπιστώνουμε ότι η συγκέντρωσή του είναι επίσης αισθητά αυξημένη στο κέντρο της πόλης ενώ σταδιακά υπάρχει μια μείωση της συγκέντρωσης όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς τα περιφερειακά τμήματα. Η διαφορά με τις συγκεντρώσεις του NO φαίνονται κυρίως στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Η μέγιστη συγκέντρωση παρουσιάζεται στο σταθμό Πατισίων και ακολουθούν ο σταθμός Αριστοτέλους και ο σταθμός Αθηνάς με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 40 ως και $75\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στα απομακρυσμένα τμήματα από το κέντρο της πόλης παρουσιάζεται μια βελτιωμένη κατάσταση με συγκεντρώσεις σαφώς χαμηλότερες που κυμαίνονται από 10 έως $35\mu\text{g}/\text{m}^3$. Όπως και με το NO, οι μέγιστες

τιμές του NO_2 παρουσιάζονται στις πυκνοκατοικημένες περιοχές της πόλης όπου παρατηρείται καθημερινά κυκλοφοριακή συμφόρηση.



Εικόνα 3. Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του ρύπου NO_2 για τη χρονική περίοδο 2016-2020 με τη μέθοδο IDW.

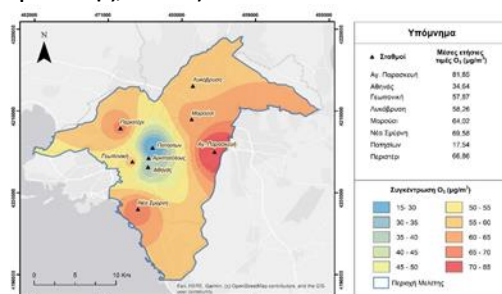
Η περίπτωση του όζοντος O_3 παρουσιάζει αισθητές διαφορές σε σχέση με τα οξειδία του αζώτου. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος συνήθως παρατηρούνται στα περιφερειακά τμήματα των πόλεων εν αντιθέσει με τη πλειοψηφία των ρύπων που παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις στα κέντρα των πόλεων. Αυτή η παρατήρηση ισχύει και για την περιοχή μελέτης. Οι σταθμοί που βρίσκονται στο κέντρο της πόλης (Πατισίων, Αριστοτέλους και Αθηνάς) παρουσιάζουν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 15 έως $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ από τη χωρική κατανομή των οξειδίων του αζώτου παρατηρήσαμε αυτούς τους σταθμούς να εμφανίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Οι σταθμοί των περιφερειακών περιοχών παρουσιάζουν αισθητά μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων με το σταθμό της Αγίας Παρασκευής να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή ίση με $82\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι υπόλοιποι σταθμοί που περιλαμβάνουν τους σταθμούς Λυκαβηττός, Μαρούσι, Περαιότες, Γεωπονική και Νέα Σμύρνη παρουσιάζουν επίσης υψηλές συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 50 έως $85\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η αλλαγή αυτή στο μοτίβο οφείλεται στο ότι το NO αντιδρά με το O_3 στην ατμόσφαιρα και σχηματίζεται NO^2 που σημαίνει ότι στις περιοχές που παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις NO θα εμφανίζονται χαμηλές

συγκεντρώσεις O_3 δηλαδή στο κέντρο της πόλης (Ζιώμας, 2007).

Η υψηλή συγκέντρωση όζοντος στα περιφερειακά τμήματα οφείλεται και στο γεγονός ότι για την παραγωγή όζοντος είναι απαραίτητη η διάσπαση του διοξειδίου του αζώτου. Αυτή η διαδικασία γίνεται με την παρουσία ηλιακής ακτινοβολία. Για να μπορέσει ολοκληρωθεί αυτή η διεργασία χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο θα γίνει η μεταφορά μέσω των ανέμων σε αποστάσεις έως και μερικών χιλιομέτρων από την περιοχή στην οποία συντελείται η παραγωγή των πρόδρομων ενώσεων του (Κελέσης κ.ά., 2017).

Επιπλέον, σύμφωνα με την ετήσια έκθεση ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΥΠΕΝ), η ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελείται από ορεινούς όγκους και διαθέτει σχετικά κλειστή τοπογραφία η οποία εμποδίζει τη διάχυση των ρύπων. Έτσι η νότιοι άνεμοι, καθώς και η απουσία ή η ασθενής έντασή τους, έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη τοπικού συστήματος κυκλοφορίας (θαλάσσια αύρα) που ευνοεί την ανάπτυξη υψηλών συγκεντρώσεων δευτερογενών ρύπων στην περιφέρεια του λεκανοπεδίου (Στογιάννης, 2019).



Εικόνα 4. Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων του ρύπου O_3 για τη χρονική περίοδο 2016-2020 με τη μέθοδο IDW.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με σκοπό τη συσχέτιση των ρύπων και των γεννήσεων δημιουργήθηκαν διαγράμματα με δεδομένα τις γεννήσεις και τη συγκέντρωση κάθε ρύπου ανά έτος. Από τα διαγράμματα υπολογίστηκε τόσο η

γραμμή τάσης όσο και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 . Ο συντελεστής αυτός αφορά το ποσοστό διακύμανσης των τιμών του άξονα Y που εξηγείται με βάση τις τιμές που αντιστοιχούν στον άξονα X και δε διαθέτει μονάδες μέτρησης. Το εύρος τιμών του είναι μεταξύ 0 και 1. Τιμές κοντά στο μηδέν δείχνουν μικρή συσχέτιση ενώ τιμές κοντά στο 1 δείχνουν καλή συσχέτιση. Από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 προέκυψε και ο γραμμικός συντελεστής συσχέτισης r , ο οποίος ορίζεται ως η ρίζα του συντελεστή R^2 .

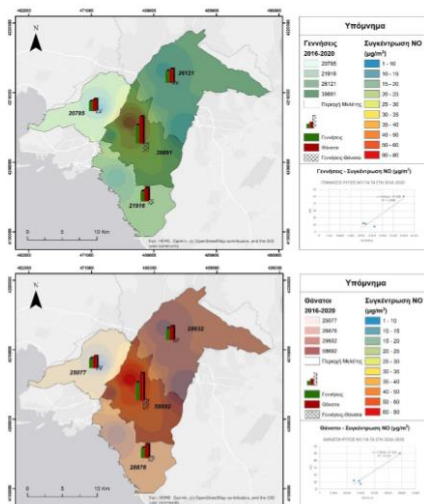
2016			
	NO	NO ₂	O ₃
Γεννήσεις	0,924465	0,790241	-0,89276
Θάνατοι	0,977349	0,90012	-0,94692
2017			
	NO	NO ₂	O ₃
Γεννήσεις	0,922282	0,797187	-0,85943
Θάνατοι	0,974449	0,903138	-0,9466
2018			
	NO	NO ₂	O ₃
Γεννήσεις	0,929505	0,844179	-0,87291
Θάνατοι	0,978851	0,934783	-0,91213
2019			
	NO	NO ₂	O ₃
Γεννήσεις	0,919524	0,798169	-0,92351
Θάνατοι	0,971977	0,890172	-0,94004
2020			
	NO	NO ₂	O ₃
Γεννήσεις	0,899366	0,724418	-0,9673
Θάνατοι	0,970696	0,849474	-0,99721

Εικόνα 5. Πίνακας με τις τιμές του συντελεστή r για τη συσχέτιση γεννήσεων/θανάτων και ρύπων κάθε έτους της περιόδου 2016-2020.

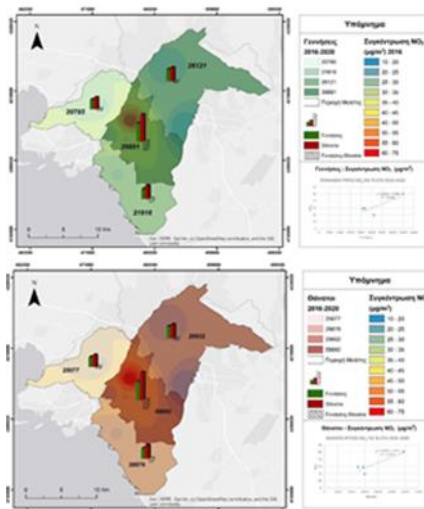
Παρατηρούμε ότι για όλα τα εξεταζόμενα έτη παρατηρείται μια θετική συσχέτιση μεταξύ γεννήσεων και του ατμοσφαιρικού ρύπου NO, με τιμές r που κυμαίνονται από 0,89 έως και 0,92. Αντίστοιχα, ισχυρή είναι και η συσχέτιση ρύπου και θανάτων με την τιμή του συντελεστή συσχέτισης να μη πέφτει κάτω από 0,97. Στην περίπτωση του NO₂ και συγκριτικά με το ρύπο NO, παρατηρούμε μικρότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ γεννήσεων και ρύπου (0,72-0,84). Η συσχέτιση θανάτων και NO₂ παρουσιάζεται θετική με υψηλές τιμές συντελεστή συσχέτισης που κυμαίνονται στο εύρος 0,84-0,93. Η εικόνα είναι αισθητά διαφορετική για το όζον το οποίο παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση τόσο με τις γεννήσεις όσο και με τους θανάτους. Συγκεκριμένα οι τιμές r για τις γεννήσεις κυμαίνεται από -0,96 έως και -0,85, και

αντίστοιχα για τους θανάτους από -0,99 έως και -0,91.

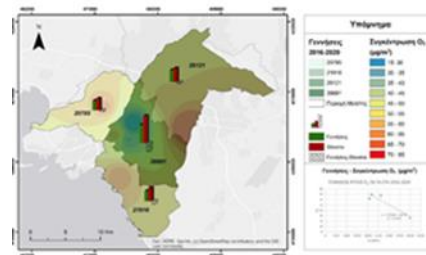
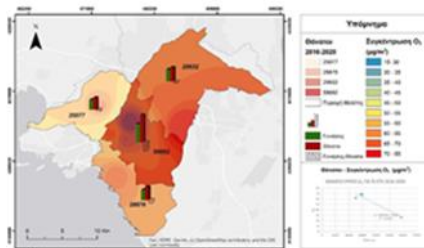
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες συσχέτισης γεννήσεων/θανάτων και ατμοσφαιρικών ρύπων.



Εικόνα 6. Χωρική κατανομή γεννήσεων/θανάτων ανά Π.Ε. και συγκεντρώσεων NO (2016-2020).



Εικόνα 7. Χωρική κατανομή γεννήσεων/θανάτων ανά Π.Ε. και συγκεντρώσεων NO₂ (2016-2020).



Εικόνα 8. Χωρική κατανομή γεννήσεων/θανάτων ανά Π.Ε. και συγκεντρώσεων O₃ (2016-2020).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Στογιάννης, Κ. (2019). Χωρική και χρονική κατανομή των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μεγάλες Ελληνικές αστικές περιοχές. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- [2] Παρταλίδου, Κ. (2018). Αξιολόγηση των μεταβολών της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων τις τελευταίες δεκαετίες σε ελληνικές αστικές περιοχές. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- [3] Νικολακόπουλος, Κ., Κατσάνου, Κ., & Λαμπράκης, Ν. (2016). Υδρολογία με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και δεδομένων τηλεπισκόπησης.
- [4] Ευελπίδου, Ν., & Αντωνίου, Β. (2015). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- [5] Ηλιοπούλου, Π. (2016). Γεωγραφική ανάλυση.
- [6] Κάβουρας, Μ., Δάρρα, Α., Κόκλα, Μ., Κονταξάκη, Σ., Πανόπουλος, Γ., & Τομαή, Ε. (2016). Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας-Ολοκληρωμένη Προσέγγιση και Ειδικά Θέματα.
- [7] Ζιώμας, Γ. (2007). Ατμόσφαιρα –Ατμοσφαιρική ρύπανση, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [8] Κελέσης, Α., Κωστής, Β., Κασσωμένος, Π., Ρεμουντάκη, Ε. & Πετρακάκης, Μ.Ι., (2017). Η εξέλιξη της φωτοχημικής ρύπανσης σε Ελληνικές μεγαλουπόλεις κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. 6ο περιβαλλοντικό συνέδριο Μακεδονίας, 5-7 Μαΐου 2017. Θεσσαλονίκη.
- [9] Χριστοφορίδου, Δ. (2014). Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε ελληνικές και Ευρωπαϊκές μεγαλουπόλεις. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. ΕΑΠ, Πάτρα.
- [10] Μελάς, Δ. (2007). Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. [Σημειώσεις μαθήματος]. Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.