

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΛΑΣΣΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παραθέτονται κάποιες αναλύσεις με βάση την κλασσική στατιστική εφαρμοσμένη στους μέσους ημερήσιους των ρύπων και των μετεωρολογικών δεδομένων.

3.1 Αναφορά στο φαινόμενο του Σαββατοκύριακου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι για τους περισσότερους από τους κύριους ρύπους είναι η κύρια πηγή ρύπανσης. Τα Σαββατοκύριακα επομένως παρατηρείται μείωση των επιπέδων των τιμών αυτών των ρύπων. Στη βιβλιογραφία για τη μόλυνση της ατμόσφαιρας το γεγονός αυτό αναφέρεται ως *το φαινόμενο του Σαββατοκύριακου*. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μέσοι των ρύπων, η διακύμανση, καθώς και το σφάλμα του μέσου, για τα Σαββατοκύριακα και τις καθημερινές για της ημερήσιες τιμές των ρύπων στο Λεκανοπέδιο. Ο διαχωρισμός έγινε υιοθετώντας στην ποιοτική μεταβλητή την τιμή 0 για τα Σαββατοκύριακα και 1 για τις καθημερινές με τη χρήση του SPSS. Με απλή παρατήρηση διαφαίνεται η σαφής μείωση των μέσων των ρύπων τα Σαββατοκύριακα.

Πίνακας 2 Φαινόμενο του Σαββατοκύριακου-Στατιστικά Στοιχεία

	weekday/weekend	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
co	0	418	2.3098	1.0029	4.905E-02
	1	1043	2.5754	1.1390	3.527E-02
no	0	418	48.7543	32.7938	1.6040
	1	1043	58.1102	41.4143	1.2824
no2	0	418	50.9941	17.0360	.8333
	1	1043	59.5368	19.7521	.6116
nox	0	418	101.0543	53.0426	2.5944
	1	1043	118.9480	69.9608	2.1663
so2	0	418	18.6259	9.7679	.4778
	1	1043	20.7598	10.8520	.3360
o3	0	418	52.6286	19.0277	.9307
	1	1043	50.4969	18.5999	.5759
tsp_c	0	6	75.8403	53.9410	22.0213
	1	10	81.7228	26.8961	8.5053
tsp_m	0	6	559.6736	218.5435	89.2200
	1	10	620.2000	125.4785	39.6798
pm10_c	0	18	81.4694	35.5695	8.3838
	1	42	77.5241	32.0705	4.9486
pm10_m	0	18	607.1021	156.5412	36.8971
	1	42	584.0840	154.4027	23.8249

Εφαρμόζοντας τη θεωρία του ελέγχου υποθέσεων η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$. Ως μηδενική υπόθεση θέτουμε την ισότητα των μέσων των τιμών των ρύπων για καθημερινές και Σαββατοκύριακα και ως εναλλακτική υπόθεση την ανισότητα τους.

$$H_0 : N (\text{καθημερινών ημερών}) = N (\text{Σαββατοκύριακων})$$

$$H_1 : N (\text{καθημερινών ημερών}) \neq N (\text{Σαββατοκύριακων})$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (οι υπολογισμοί έγιναν με το SPSS) και επιβεβαιώνουν την εναλλακτική υπόθεση H_1 σε επίπεδο σημαντικότητας α για το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου και το όζον. Τα αποτελέσματα για τα αιωρούμενα σωματίδια επιβεβαιώνουν την μηδενική υπόθεση H_0 . Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω του μικρού αριθμού δεδομένων των αιωρούμενων σωματιδίων (στο Λεκανοπέδιο οι μετρήσεις άρχισα στα τέλη του έτους 2000) τα αποτελέσματα είναι επισφαλής

και μάλλον αμφισβητήσιμα. Το πιθανότερο είναι ότι η επιβεβαίωση της μηδενικής υπόθεσης οφείλεται στο μικρό αριθμό του δείγματος παρά στη διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων ρύπων.

Πίνακας 3 Φαινόμενο του Σαββατοκύριακου – Έλεγχος Υποθέσεων

t-test	CO	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	tspc	tspm	pm10c	pm10m
pvalue	.000	.000	.000	.000	.000	.052	.811	.555	.688	.604

3.2 Συσχετίσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων μεταξύ τους και με τα μετεωρολογικά δεδομένα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχει συσχέτιση ή και αλληλεξάρτηση σε πολλές περιπτώσεις – χρονικά άμεση ή έμμεση - μεταξύ των επιπέδων των τιμών ρύπων. Ο *συντελεστής συσχέτισης* χρησιμοποιείται ως ένα μέτρο για τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των ρύπων καθώς και μεταξύ των ρύπων και των μετεωρολογικών δεδομένων (οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS). Στη συνέχεια γίνονται παρατηρήσεις για τη συσχέτιση των ατμοσφαιρικών ρύπων μεταξύ τους καθώς και με τα μετεωρολογικά δεδομένα για την ανίχνευση των πιθανών αιτιών αυτής της συσχέτισης, - όπως αυτή προκύπτει με κριτήριο το συντελεστή συσχέτισης -.

Πίνακας 4(α) Συντελεστές Συσχέτισης Ρύπων

	CO	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	tsp_c	pm10_c
CO	1	.613	.894	.677	.745	-.567	.338	.496
SO ₂	.613	1	.711	.628	.609	-.360	.010	-.077
NO	.894	.711	1	.691	.797	-.584	.306	.430
NO ₂	.677	.628	.691	1	.714	-.274	.199	.477
NO _x	.745	.609	.797	.714	1	-.408	.293	.456
O ₃	-.567	-.360	-.584	-.274	-.408	1	-.134	.080
tsp_c	.338	.010	.306	.199	.293	-.134	1	.898
pm10_c	.496	-.077	.430	.477	.456	-.080	.898	1

Πίνακας 4(β) Συντελεστές Συσχέτισης Ρύπων-Μετεωρολογικών Δεδομένων

	Μ.Ο.Θερμοκρασίας σε C	Maximum Θερμοκρασία σε C	Minimum Θερμοκρασία σε C	Υγρού βολβού Θερμοκρασία σε C	Βαθμός ημερών	κατακρημνίσεις σε	κατακρημνίσεις σε	Σχετική υγρασία στα %	Πίεση ατμών σε mm Hg	Σημείο υγροποίησης σε C	Έλλειμα κορεσμού σε mm Hg	μηδέν βαθμούς C σε	Άνεμος σε m/second	Σύνολο εξατμίσεως σε mm
CO	-.219	-.174	-.249	-.139	.114	-.044	-.070	.396	-.041	-.026	-.299	.210	-.548	-.414
SO ₂	-.324	-.259	-.381	-.356	.379	-.133	-.149	.106	-.335	-.353	-.195	.279	-.373	-.263
NO	-.267	-.215	-.305	-.209	.178	-.057	-.086	.369	-.139	-.113	-.302	.221	-.518	-.393
NO ₂	.005	.075	-.053	.048	-.073	-.095	-.135	.130	.082	.094	-.061	.015	-.635	-.199
NO _x	-.140	-.088	-.179	-.090	.070	-.065	-.096	.249	-.037	-.020	-.187	.133	-.506	-.289
O ₃	.661	.656	.637	.543	-.485	-.108	-.158	-.747	.373	.353	.737	-.298	.291	.783
tsp_c	.720	.700	.616	.695	-.720	-.212	-.223	.134	.643	.658	.553	-.304	-.048	-.231
pm10_c	.673	.699	.589	.658	-.684	.001	-.176	.128	.609	.622	.382	.019	-.286	.018

Κάποιες από τις συσχετίσεις των ρύπων στο Λεκανοπέδιο της Αττικής με βάση τους **ημερήσιους μέσους** του κάθε ρύπου, οφείλονται στις κοινές πηγές προέλευσης των ρύπων. Όπως φαίνεται στον πίνακα οι μεταβλητές CO, NO, NO₂, NO_x, έχουν υψηλό συντελεστής συσχέτισης γεγονός που υποδηλώνει ότι οι τιμές τους μεταβάλλονται ταυτόχρονα στο χρόνο (όσο ο συντελεστής προσεγγίζει τη μονάδα τόσο η συσχέτιση είναι μεγαλύτερη). Διευκρινίζεται ότι ο θετικός συντελεστής συσχέτισης υποδηλώνει ότι οι μεταβλητές *συμμεταβάλλονται*, συμπέρασμα αναμενόμενο αφού όσο μεγαλύτερες είναι οι εκλύσεις καυσαερίων τόσο μεγαλύτερα είναι τα ποσοστά των ρύπων που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των CO και NO_x όπου η κύρια πηγή παραγωγής τους είναι τα αυτοκινούμενα οχήματα και για αυτό παρουσιάζουν θετικό - υψηλό συντελεστή συσχέτισης. Στις περιπτώσεις των pm10_c, και tsp_c που αφορούν αιωρούμενα σωματίδια διαφορετικής διαμέτρου, καθώς και των οξειδίων του αζώτου, οι πηγές παραγωγής τους που είναι όμως και έμμεσες (χημικές αντιδράσεις μέσα στην ατμόσφαιρα) επίσης είναι οι ίδιες οπότε ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης είναι αναμενόμενος.

Οι συσχετίσεις των τιμών των ρύπων από τις κλιματολογικές συνθήκες είναι σαφές ότι είναι αξιοσημείωτες στις περιπτώσεις των ρύπων που σχηματίζονται μερικά ή ολικά μέσα στην ατμόσφαιρα. Έτσι παρατηρείται το όζον και τα αιωρούμενα σωματίδια να έχουν αρκετά υψηλούς συντελεστές συσχέτισης σε σχέση με τα μετεωρολογικά δεδομένα που εκφράζουν την θερμοκρασία και τις συνθήκες υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Στις περιπτώσεις ύπαρξης αρνητικού συντελεστή συσχέτισης (π.χ. ποσοστό σχετικής υγρασίας - όζον), οι τιμές των μεταβλητών *αντιμεταβάλλονται*.

Απορία μπορεί να δημιουργήσει το γεγονός ότι ο συντελεστής συσχέτισης του όζοντος με τα οξείδια του αζώτου δεν είναι ο αναμενόμενος (δηλαδή υψηλός). Αφού το όζον είναι, όπως προαναφέρεται, δεν είναι άμεσα το προϊόν διαφόρων ρυπογόνων πηγών αλλά αποτέλεσμα της διάσπασης των οξειδίων των αζώτων - μέσω χημικών αντιδράσεων, παρουσία καταλυτών - στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο είναι αξιοπρόσεκτο το γεγονός ότι ο συντελεστής είναι αρνητικός - έστω και χαμηλός - με όλα τα οξείδια αποτέλεσμα συμβατό με τον τρόπο παραγωγής του όζοντος. Γενικότερα στις περιπτώσεις των ρύπων που παράγονται μέσα στην ατμόσφαιρα από ήδη υπάρχοντες ρύπους - αιωρούμενα σωματίδια, όζον - χρειάζεται ιδιαίτερη αντιμετώπιση και ειδικά στην περίπτωση του όζοντος. Το όζον δε μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά, όπως φαίνεται και από το συντελεστή συσχέτισης, σε μία απλή αναλογική ή για την ακρίβεια, αντιστρόφως αναλογική σχέση με τα οξείδια του αζώτου. Οι μελέτες περιστατικών υπερβολικής αύξησης σε ορισμένες γεωγραφικά περιοχές του επιπέδου των τιμών του δείχνουν ότι αυξημένα ποσοστά διοξειδίου του αζώτου δεν προηγούνται - χρονικά - πάντα των αυξημένων ποσοστών του όζοντος. Μία από τις αιτίες που δύσκολα προσδιορίζονται είναι και οι οργανικές ενώσεις εξ' αιτίας της ασταθούς τους χημικής δομής. Οι ερμηνείες ποικίλλουν κατά περίπτωση, έτσι εκτός από την παρουσία των οργανικών ενώσεων, τη θερμοκρασία, την ηλιοφάνεια, σημαντική επιρροή έχουν και οι άνεμοι που πνέουν. Όχι τόσο από πλευράς ταχύτητας - όπως φαίνεται από το συντελεστή συσχέτισης - αλλά ανάλογα με την κατεύθυνση σε συνδυασμό με το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Πρέπει να

επισημανθεί ότι με τον όρο «περιοχή» θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ότι οι ρύποι και ειδικά τα οξείδια του αζώτου μεταφέρονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Γενικότερα στα επίπεδα των τιμών των ρύπων της ατμόσφαιρας σε μία ευρύτερη γεωγραφική περιοχή - όπως αυτή του Λεκανοπεδίου της Αττικής - παρατηρούνται πάντα συσχετίσεις. Όπως φαίνεται συνοψίζοντας τα παραπάνω σχόλια, οι συσχετίσεις αυτές δεν είναι πάντα άμεσες ούτε προσδιορίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις εύκολα και μονοσήμαντα. Εκτός από τη διερεύνηση των άμεσων πηγών έκλυσης τους επιβάλλεται η πληρέστερη, κατά το δυνατό, γνώση της χημείας στην ατμόσφαιρα και των σχετικών παραμέτρων της κάθε περιοχής. Έτσι μόνο είναι δυνατή η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των ρύπων και των κλιματολογικών συνθηκών (μετεωρολογικά δεδομένα) που αποσκοπεί τελικά στην επιθυμητή πρόβλεψη των τιμών των ρύπων.

3.3 Υπάρχουσες Μέθοδοι και Τεχνικές για την Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Για την επίτευξη προβλέψεων των τιμών των ρύπων έχουν δημιουργηθεί μοντέλα που είναι βασισμένα και στις παρατηρήσεις στατιστικών τεχνικών προσαρμοσμένα στις ιδιαίτερες συνθήκες – τοπογραφικές και κλιματολογικές – της κάθε περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη βιοχημικές παραμέτρους δηλαδή τη γνώση της χημείας της ατμόσφαιρας, καθώς και τις υπάρχουσες πηγές ρύπανσης κλπ. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούν κυρίως real time μετρήσεις και επιτυγχάνουν βραχυχρόνιες προβλέψεις που είναι απαραίτητες για την αποφυγή *επεισοδίων* υπερβολικής αύξησης των τιμών των ρύπων. Έτσι με τη λήψη, εκ των προτέρων, κατάλληλων έκτακτων μέτρων είναι δυνατή η αποφυγή τους.

Ωστόσο απαραίτητες για την έρευνα και την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής μόλυνσης είναι και οι αμιγώς στατιστικές τεχνικές. Κυρίως εφαρμόζονται η πολυμεταβλητή ανάλυση και οι χρονολογικές σειρές. Η πολυμεταβλητή ανάλυση όπως έχει ήδη αναφερθεί χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του

ποσοστού συμμετοχής των ρυπογόνων πηγών για κάθε ρύπο. Επίσης εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της επιρροής, στην τάση του ρύπου μια περιοχής, διαφόρων άλλων μεταβλητών, όπως ο σταθμός μέτρησης του ρύπου, η χρονική εποχή κλπ. Έτσι ανιχνεύεται η εποχικότητα, τα σημεία που είναι επιβαρημένα από τη μόλυνση και οι διάφορες παράμετροι μεταβλητές που επηρεάζουν την τάση του ρύπου στο χρόνο. Οι χρονολογικές σειρές επίσης χρησιμοποιούνται συστηματικά για την ανίχνευση της εξέλιξης της τάσης του ρύπου στο χρόνο και την πραγματοποίηση προβλέψεων για την πορεία του. Οι χρονολογικές σειρές χρησιμοποιούνται είτε με την εφαρμογή κλασσική στατιστική θεωρία είτε με τη χρήση μη παραμετρικής στατιστικής θεωρίας. Το κριτήριο επιλογής της τεχνικής είναι ο όγκος των δεδομένων. Η κλασσική στατιστική ανάλυση χρονολογικών σειρών απαιτεί μεγάλο αριθμό δεδομένων, επομένως εφαρμόζεται σε ημερήσια κυρίως δεδομένα. Στην πράξη αποτελεσματικά και εύκολα εφαρμόσιμα για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων είναι τα μηνιαία ή ετήσια δεδομένα. Κατά συνέπεια η μη παραμετρική στατιστική κυριαρχεί στη στατιστική ανάλυση των ατμοσφαιρικών ρύπων.

Οι παραπάνω τρόποι διερεύνησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σίγουρα δεν είναι οι μόνες. Αποτελούν όμως τους βασικούς άξονες για την παρακολούθηση και τη λήψη μέτρων της ατμοσφαιρικής μόλυνσης. Εξειδικευμένες εφαρμογές ή τροποποιημένες τεχνικές βασισμένες στην παραπάνω στατιστική θεωρία καθώς και συνδυασμοί τους συνιστούν την κατεύθυνση που κινείται η περιβαλλοντική στατιστική.

