

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



Τζανής Σπυρίδων

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΚΟΝΕΣ
ΔΡΟΜΩΝ. ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Θεσσαλονίκη

2021

Τζανής Σπυρίδων
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ : 5525

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΚΟΝΕΣ ΔΡΟΜΩΝ.
ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας ,Τομέα Γεωφυσικής
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Επίκουρη Καθηγήτρια: Αηδονά Ελένη

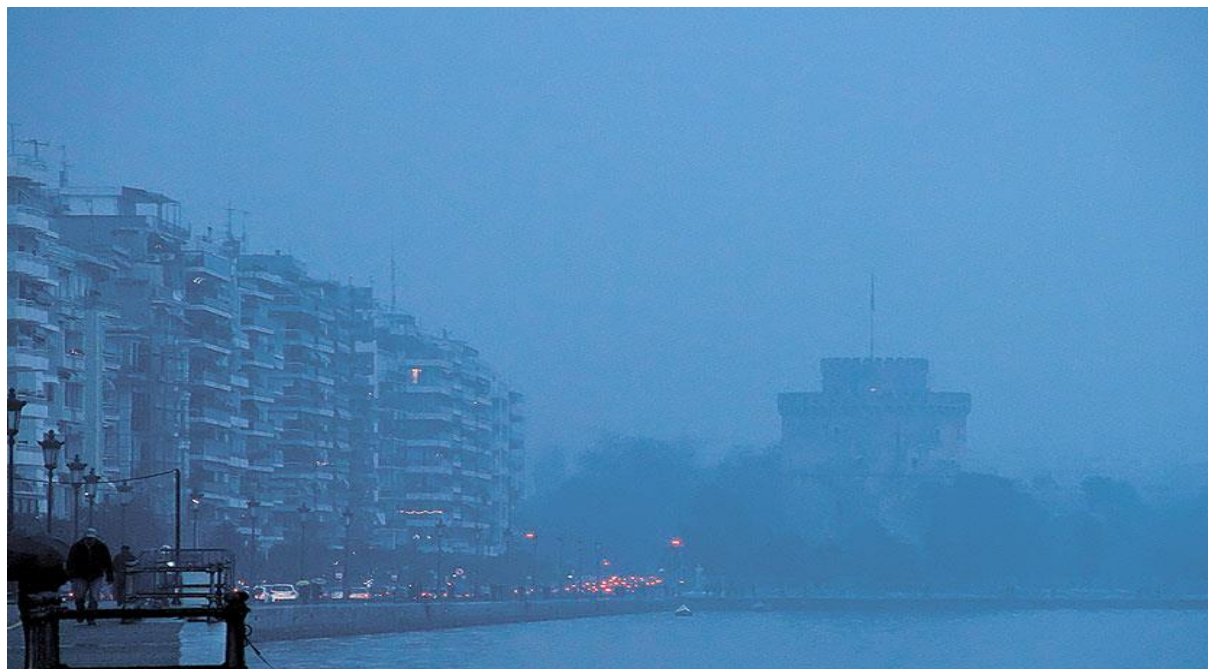
© Τζανής Σπυρίδων, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2021
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ
ΣΚΟΝΕΣ ΔΡΟΜΩΝ. ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΣΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – *Διπλωματική Εργασία*

© Tzanis Spyridon, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2021
All rights reserved. MAGNETIC SUSCEPTIBILITY MEASUREMENTS IN ROAD DUSTS.
CONTRIBUTION TO THE INVESTIGATION OF POTENTIAL POLLUTION AREAS IN
THE URBAN ENVIRONMENT OF THESSALONIKI CITY- *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα εξωφύλλου:



Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους βοήθησαν για να γίνει αυτή η εργασία. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια, κυρία Ελένη Αηδονά του Τομέα Γεωφυσικής, η οποία μου ανέθεσε το θέμα της εργασίας μου και με καθοδήγησε με τις συμβουλές της καθ' όλη την διάρκεια της έρευνας και της μελέτης. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Dr. Anna Bourliva για την συμβολή της στην περάτωση της εργασίας μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου οι οποίοι με βοήθησαν να σπουδάσω και να βρίσκομαι σε αυτό το σημείο.

Πίνακας περιοχομένων

Περιχόμενα :

Περίληψη.....	8
Abstract.....	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9
1.Εισαγωγή.....	10
1.1. Γενικά στοιχεία μαγνητισμού και ιδιότητες μαγνητικών υλικών...	10
1.2 Περιβαλλοντικός μαγνητισμός.....	13
1.3 Σκόνη δρόμου.....	14
1.4 Γενικά στοιχεία της Θεσσαλονίκης.....	15
2. Δειγματοληψία-Εργαστηριακές μέθοδοι.....	16
3. Αποτελέσματα.....	19
4. Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	29
5. Συμπεράσματα.....	36
6. Βιβλιογραφία.....	37
7. Παράρτημα.....	39

Περίληψη

Η παρούσα ερευνητική εργασία πραγματοποιήθηκε στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Συλλέχθηκαν δείγματα από σκόνες δρόμων (road dust), καλύπτοντας μεγάλο μέρος της πόλης. Στα πλαίσια της εργασίας εφαρμόστηκαν κυρίως μαγνητικές μετρήσεις. Σκοπός των μετρήσεων αυτών είναι ο καθορισμός των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας στις εκάστοτε περιοχές. Αυτές οι τιμές βοηθάνε στην διερεύνηση πιθανών περιοχών ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης, αφού περιοχές με μεγάλες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι πιθανό να είναι πιο μολυνσμένες.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε διαγράμματα όπου είναι διακριτές οι περιοχές με αυξημένες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας, βάσει των οποίων συζητούνται οι πιθανές περιοχές ρύπανσης αλλά και οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι για την υγεία του ανθρώπου.

Abstract

The present survey was carried out in the city of Thessaloniki. Road dust samples were collected, covering a big part of the city. As part of the work magnetic measurements scans were applied. The purpose of those measurements is the definition of magnetic susceptibility of each sampling area. Those results are helpful for the investigation of possibly polluted areas in the urban environment of Thessaloniki, because areas with high magnetic susceptibility measurements are likely to be more polluted.

The results of the measurements are presented in diagrams where the areas with high magnetic susceptibility are discernible. Based on these results, possibly polluted areas and contingencies dangers for human health are being discussed.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο χώρος που πραγματοποιήθηκε η συλλογή δειγμάτων σκόνης δρόμου και οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας είναι η πόλη της Θεσσαλονίκης. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μέτρηση της μαγνητικής επιδεκτικότητας των δειγμάτων σκόνης δρόμου που συλλέχθηκαν. Από τα δείγματα που συλλέχθηκαν απομονώσαμε το κλάσμα των 500 μm και των 250 μm με σκοπό να εξετάσουμε την συμπεριφορά της μαγνητικής επιδεκτικότητας στα διαφορετικά κλάσματα. Στα δείγματα που παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας επιχειρήθηκε να μελετηθεί και το μικρότερο κλάσμα των 63μm. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συγκρίθηκαν και με τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας που ήταν διαθέσιμες για την πόλη της Θεσσαλονίκης από παλαιότερη μελέτη. Σκοπός των παραπάνω μετρήσεων είναι να πάρουμε μια καλύτερη εικόνα σχετικά με τις πιθανές περιοχές ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης.

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία μαγνητισμού και ιδιότητες μαγνητικών υλικών

Μαγνητισμός χαρακτηρίζεται το φαινόμενο στο οποίο κάποια υλικά, λεγόμενα μαγνήτες, ασκούν ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις σε άλλα υλικά, οφειλόμενες στην κίνηση ηλεκτρικών φορτίων, καθώς και το σύνολο των φαινομένων που παράγονται από την ιδιότητα αυτή.

Εάν ένα υλικό τοποθετηθεί σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης H , του οποίου η διεύθυνση είναι κάθετη προς την επιφάνεια του σώματος, τότε η προκαλούμενη ένταση μαγνήτισης J του υλικού είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου H . Το μέτρο και η διεύθυνση της μαγνήτισης δίνεται από τη σχέση:

$$J=kH$$

Μαγνητική επιδεκτικότητα (magnetic susceptibility, k) είναι η παράμετρος που χαρακτηρίζει την ικανότητα/ευκολία ενός υλικού να μαγνητίζεται όταν βρίσκεται σε κάποιο μαγνητικό πεδίο και εξαρτάται από τις μαγνητικές ιδιότητες του υλικού. Η μαγνητική επιδεκτικότητα δεν έχει μονάδες μέτρησης. Η μαγνητική επιδεκτικότητα μάζας έχει μονάδα μέτρησης το $m^3 kg^{-1}$ στο S.I.

Η μαγνητική επιδεκτικότητα που εξαρτάται από την συχνότητα, δηλαδή η χ_{fd} , ορίζεται ως $\chi_{fd}(\%) = [(x_{lf} - x_{hf}) / x_{lf}] \times 100$, όπου τα x_{lf} και x_{hf} αντιπροσωπεύουν την μαγνητική επιδεκτικότητα στις τιμές των 0.46 kHz και 4.6 kHz αντίστοιχα. Αυξημένες τιμές χ_{fd} δείχνουν παρουσία υπερπαραμαγνητικών σωματιδίων.

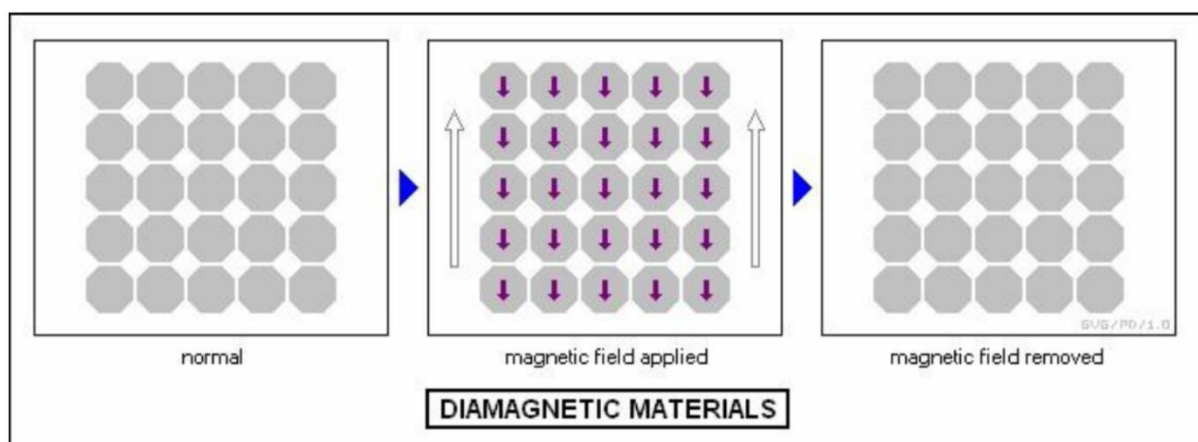
Υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν την μαγνητική επιδεκτικότητα. Τέτοιοι παράγοντες είναι η θερμοκρασία, η συχνότητα και η φύση του υλικού. Μερικές τυπικές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας φαίνονται στο σχήμα 1.

ΥΛΙΚΑ	ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ(k)
Νερό	-0.91×10^{-5}
Χαλκός	-1.0×10^{-5}
Βολφράμιο	6.8×10^{-5}
Καίσιο	5.1×10^{-5}
Μαγνητίτης	1000×10^{-5}

Σχήμα 1. Τυπικές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας υλικών.

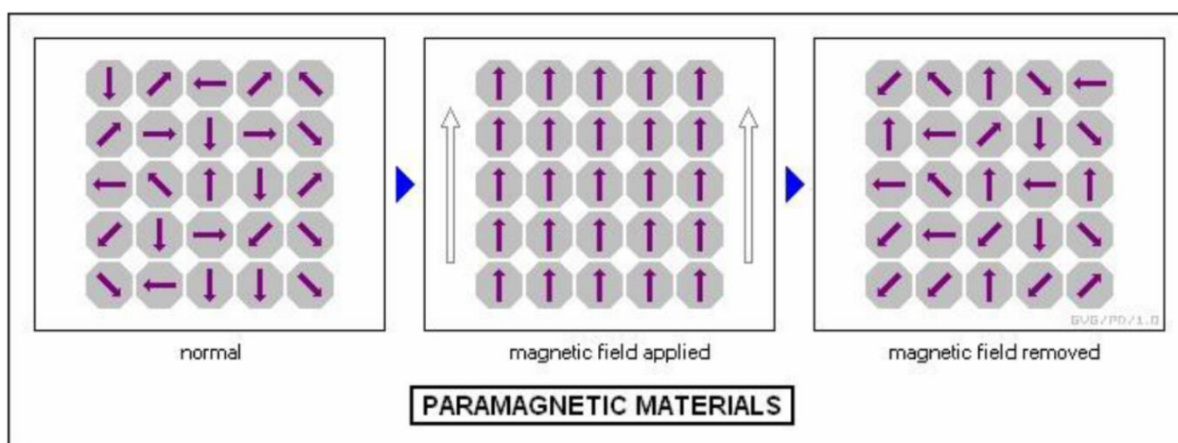
Τα υλικά όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο επηρεάζονται με διαφορετικό βαθμό και ανάλογα με την μαγνητική επιδεκτικότητά (k) τους διακρίνονται σε διαμαγνητικά, παραμαγνητικά και σιδηρομαγνητικά.

Τα διαμαγνητικά (diamagnetic) υλικά δημιουργούν ένα επαγόμενο μαγνητικό πεδίο με αντίθετη κατεύθυνση από το εξωτερικά εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο και απωθούνται από το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο (Σχήμα 2). Γενικά έχουν μικρές αρνητικές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας.



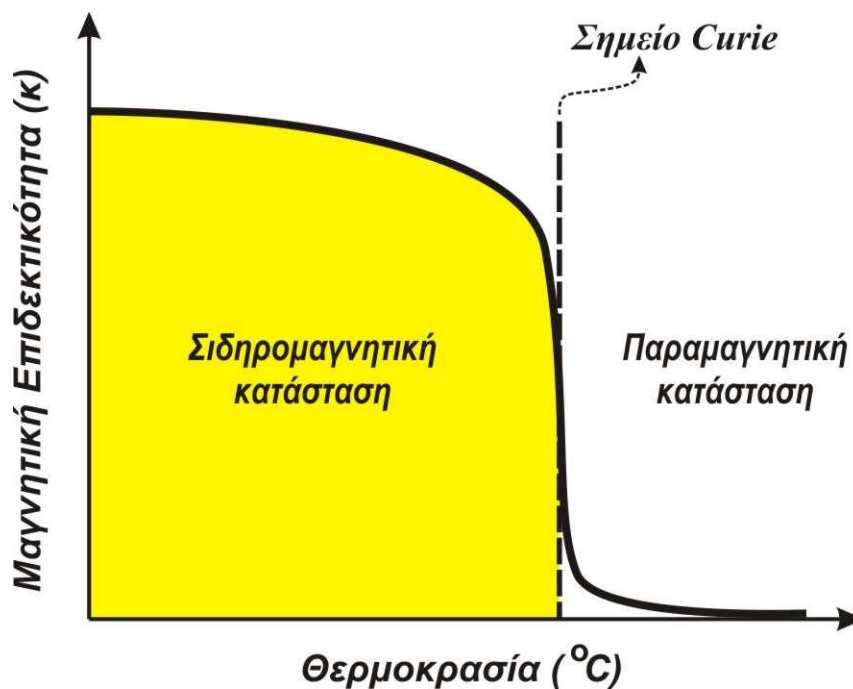
Σχήμα 2. Συμπεριφορά διαμαγνητικών υλικών σε μαγνητικό πεδίο (Billah, 2016).

Αντίθετη συμπεριφορά από τα διαμαγνητικά έχουν τα παραμαγνητικά (paramagnetic) υλικά, τα οποία έλκονται από το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο (Σχήμα 3). Έχουν μια μικρή, θετική επιδεκτικότητα στα μαγνητικά πεδία. Αυτά τα υλικά έλκονται ελαφρώς από μαγνητικά πεδία και το υλικό δεν κρατά τις μαγνητικές ιδιότητες όταν αφαιρείται το εξωτερικό πεδίο.



Σχήμα 3. Συμπεριφορά παραμαγνητικών υλικών σε μαγνητικό πεδίο (Billah, 2016).

Η θεμελιώδης διαφορά των σιδηρομαγνητικών (ferromagnetic) και των παραμαγνητικών υλικών, είναι ότι τα πρώτα μαγνητίζονται έντονα όταν βρεθούν σε μαγνητικό πεδίο αλλά διατηρούν το μαγνητισμό τους και μετά την απομάκρυνσή του πεδίου. Άρα είναι τα μόνα υλικά που αποκτούν παραμένονσα μαγνήτιση, δηλαδή παρουσιάζουν μαγνήτιση και μετά την εφαρμογή μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο με θέρμανση πάνω από την θερμοκρασία Curie τα σιδηρομαγνητικά υλικά μετατρέπονται σε παραμαγνητικά (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Μετάβαση σιδηρομαγνητικής κατάστασης σε παραμαγνητική στην θερμοκρασία Curie (Παπαζάχος & Παπαζάχος, 2013.)

1.2 Περιβαλλοντικός μαγνητισμός

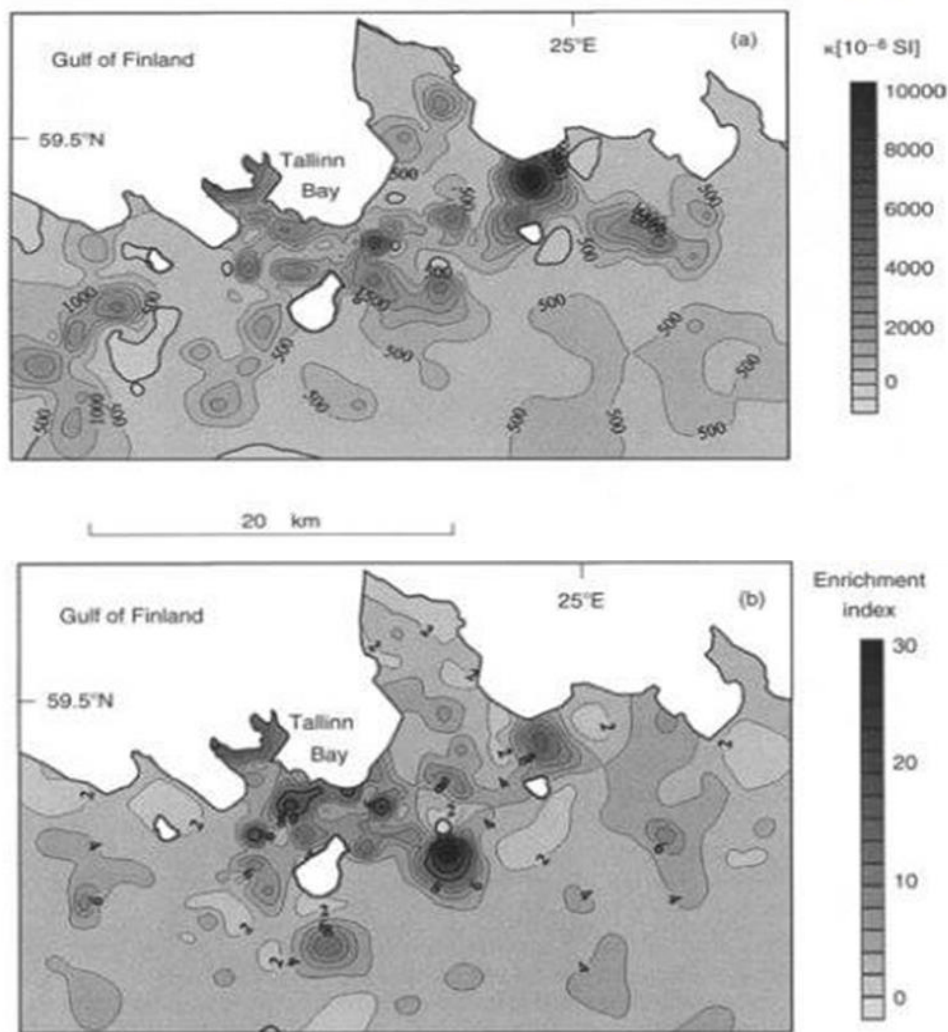
Ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός είναι ένας διεπιστημονικός ερευνητικός κλάδος ο οποίος βοηθάει στην έρευνα και μελέτη πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων. Ο βασικός σκοπός του περιβαλλοντικού μαγνητισμού είναι η σύνδεση των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που τις επηρεάζουν. Ουσιαστικά ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός ασχολείται με την εύρεση σιδηρομαγνητικών κόκκων και με τον προσδιορισμό του μεγέθους τους έτσι ώστε να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές διεργασίες.

Παλαιότερα ο βασικός σκοπός των μελετών των μαγνητικών ιδιοτήτων των ορυκτών και των πετρωμάτων ήταν ο προσδιορισμός της σταθερότητας της διεύθυνσης της παραμένουσας μαγνήτισης που κατέγραφαν τα σιδηρομαγνητικά υλικά των γεωλογικών πετρωμάτων κατά την διάρκεια των διάφορων γεωλογικών περιόδων. Στις μέρες μας ο περιβαλλοντικός μαγνητισμός πέρα από τα γεωλογικά πετρώματα ερευνά πληθώρα υλικών τα οποία έχουν ανθρωπογενή προέλευση από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και μας βοηθάει στην διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ρύπανση σε αστικές περιοχές (Liu et al. 2012). Ένα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις παραπάνω έρευνες και μελέτες είναι η σκόνη δρόμου (road dust).

1.3 Σκόνη δρόμου

Η σκόνη δρόμου είναι ένα σύνθετο περιβαλλοντικό υλικό που αποτελείται από στερεά ύλη φυσικής και ανθρωπογενούς σύστασης. Η σκόνη δρόμου μπορεί να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα μέσω του αέρα, επηρεάζοντας έτσι την ποιότητα της ατμόσφαιρας και προκαλώντας επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η εκπομπή σκόνης δρόμου θεωρείται ως σημαντική πηγή ατμοσφαιρικών σωματιδίων και μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα αν δεν τα λάβουμε υπόψιν. Μάλιστα, πολλές μελέτες δείχνουν ότι η σκόνη δρόμου περιέχει σημαντική ποσότητα ισχυρά μαγνητικών και πλούσιων σε σίδηρο σωματιδίων.

Η παρουσία σιδηρομαγνητικών υλικών στις αστικές περιοχές είναι η αιτία του αυξημένου μαγνητισμού. Επιπροσθέτως έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει συσχετισμός μαγνητικής επιδεκτικότητας και βαρέων μετάλλων (όπως Cu, Pb, Zn, Cd και Cr). Ουσιαστικά πολλές φορές, όπου παρατηρούνται υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας, εντοπίζονται και μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Ωστόσο δεν είναι γνωστός ο παράγοντας που τα συνδέει και δεν ισχύει πάντα ο παραπάνω συσχετισμός (Bourliva et al. 2018). Η μαγνητική επιδεκτικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές εκτός από όπως για την πρόβλεψη των πετροχημικών ιδιοτήτων (Potter et al., 2004, Imhmed, 2012), για την έρευνα της ρύπανσης υπόγειων οριζόντων από διασταλλάζοντα ύδατα (Prezzi et al., 2005), για τον εντοπισμό σιδηρούχων μεταλλευμάτων (Dobrin et al., 1976), για τον εντοπισμό πετρελαιοφόρων πηγών ή γεωθερμικών πεδίων που σχετίζονται με την ύπαρξη μαγνητικών ανωμαλιών (Παπαζάχος, 1985).



Σχήμα 5. Συσχετισμός βαρέων μετάλλων και μαγνητικής επιδεκτικότητας (Bityukova et. al. 1999)

1.4 Γενικά στοιχεία της Θεσσαλονίκης

Η Θεσσαλονίκη βρίσκεται στην κεντρική Μακεδονία και είναι η πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού. Πρόκειται για την δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, με πληθυσμό που ανέρχεται στους 16000 κατοίκους ανά km^{-2} και συνολικό πληθυσμό που ξεπερνά το 1.000.000 πολίτες. Χαρακτηρίζεται από επιβαρυνμένη/επιδεινωμένη ποιότητα αέρα λόγω της καύσης λαδιών και καυσίμων από τα οχήματα, των αυξημένων βιομηχανικών δραστηριοτήτων καθώς και των τοπογραφικών και καιρικών/μετεωρολογικών συνθηκών.

2. Δειγματοληψία-Εργαστηριακές μέθοδοι

Συγκεντρώθηκαν δείγματα σκόνης δρόμου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούλιος-Αύγουστος του 2021) από 54 σημεία της Θεσσαλονίκης προκειμένου να προσδιορίσουμε τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας, τις τιμές του χ_{fd} , καθώς και τις πιθανές περιοχές ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον της Θεσσαλονίκης. Για να έχουμε μια καλύτερη εικόνα σχετικά με τις περιοχές που παρουσιάζουν έντονη ρύπανση, μέσα από τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας, πήραμε δείγματα τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλος μέρος της Θεσσαλονίκης από ανατολικά έως δυτικά. Συγκεκριμένα σε διαφορετικές μέρες μαζεύτηκαν δείγματα από την δυτική Θεσσαλονίκη (THD), την ανατολική Θεσσαλονίκη (THA) και την περιοχή του κέντρου (THC). Στις περιοχές δειγματοληψίας συμπεριλαμβάνονται αστικές περιοχές, βιομηχανικές περιοχές (TITAN, Σίνδος) καθώς και προάστιες περιοχές. Στους πίνακες 1 και 2 βλέπουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες των περιοχών δειγματοληψίας. Από τον ανατολικό μέρος της πόλης συλλέχθηκαν 15 δείγματα. Ομοίως και για το κέντρο της πόλης ενώ από την δυτική Θεσσαλονίκη τα δείγματα είναι λίγο περισσότερα, 24.

Sample	φ	λ	Sample	φ	λ
THC-1	40° 38' 02" N	22° 57' 23" E	THA-1	40° 37' 17" N	22° 58' 05" E
THC-2	40° 38' 17" N	22° 56' 43" E	THA-2	40° 36' 57" N	22° 58' 25" E
THC-3	40° 38' 08" N	22° 56' 38" E	THA-3	40° 36' 49" N	22° 57' 14" E
THC-4	40° 37' 55" N	22° 56' 24" E	THA-4	40° 36' 01" N	22° 58' 12" E
THC-5	40° 28' 02" N	22° 56' 12" E	THA-5	40° 36' 45" N	22° 58' 55" E
THC-6	40° 38' 23" N	22° 55' 59" E	THA-6	40° 36' 50" N	22° 58' 09" E
THC-7	40° 38' 26" N	22° 56' 24" E	THA-7	40° 36' 17" N	22° 57' 09" E
THC-8	40° 38' 32" N	22° 55' 52" E	THA-8	40° 34' 55" N	22° 56' 46" E
THC-9	40° 37' 51" N	22° 57' 10" E	THA-9	40° 35' 20" N	22° 57' 37" E
THC-10	40° 37' 59" N	22° 56' 49" E	THA-10	40° 34' 30" N	22° 56' 54" E
THC-11	40° 38' 14" N	22° 56' 16" E	THA-11	40° 36' 03" N	22° 59' 17" E
THC-12	40° 37' 34" N	22° 56' 58" E	THA-12	40° 35' 21" N	23° 01' 09" E
THC-13	40° 37' 50" N	22° 56' 44" E	THA-13	40° 35' 50" N	23° 00' 02" E
THC-14	40° 37' 48" N	22° 57' 42" E	THA-14	40° 32' 50" N	23° 01' 10" E
THC-15	40° 38' 13" N	22° 56' 01" E	THA-15	40° 31' 29" N	22° 58' 43" E

Πίνακας 1. Συντεταγμένες των περιοχών δειγματοληψίας στην δυτική Θεσσαλονίκη και στην περιοχή του κέντρου.

Sample	φ	λ
THD-1	40° 38' 51" N	22° 56' 40" E
THD-2	40° 38' 49" N	22° 56' 48" E
THD-3	40° 38' 57" N	22° 57' 11" E
THD-4	40° 39' 00" N	22° 57' 30" E
THD-5	40° 39' 16" N	22° 57' 10" E
THD-6	40° 39' 28" N	22° 57' 24" E
THD-7	40° 39' 34" N	22° 56' 07" E
THD-8	40° 39' 35" N	22° 56' 39" E
THD-9	40° 40' 29" N	22° 56' 11" E
THD-10	40° 39' 33" N	22° 58' 55" E
THD-11	40° 40' 47" N	22° 57' 23" E
THD-12	40° 38' 44" N	22° 55' 53" E
THD-13	40° 39' 10" N	22° 55' 33" E
THD-14	40° 40' 06" N	22° 54' 43" E
THD-15	40° 38' 31" N	23° 01' 18" E
THD-16	40° 37' 43" N	23° 02' 43" E
THD-17	40° 39' 25" N	22° 54' 47" E
THD-18	40° 38' 31" N	22° 57' 38" E
THD-19	40° 36' 43" N	23° 06' 04" E
THD-20	40° 40' 00" N	22° 48' 21" E
THD-21	40° 38' 32" N	22° 51' 33" E
THD-22	40° 41' 44" N	22° 57' 58" E
THD-23	40° 42' 16" N	22° 57' 09" E
THD-24	40° 40' 35" N	22° 52' 28" E

Πίνακας 2. Συντεταγμένες των περιοχών δειγματοληψίας την δυτικής Θεσσαλονίκη.



Σχήμα 6. Διαδικασία δειγματοληψίας. Περιοχή TITAN.

Τα δείγματα σκόνης δρόμου συλλέχθηκαν αφού σκουπίσαμε περιοχή με εμβαδόν περίπου ίσο με 1 m^2 στις άκρες των δρόμων. Αυτή η σκόνη τοποθετήθηκε σε πολυαιθυλένια σακουλάκια τα οποία πήγαμε στο εργαστήριο. Στην συνέχεια τα δείγματα κοσκινίστηκαν αρχικά με το κόσκινο των $500\mu\text{m}$ και στην συνέχεια στο κόσκινο των $250\mu\text{m}$. Κάποια δείγματα με υψηλότερες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας κοσκινίστηκαν και στο κόσκινο των $63\mu\text{m}$. Το υλικό που κοσκινίστηκε σε όλες τις περιπτώσεις, τοποθετήθηκε μέσα σε μικρά κουτάκια και στην συνέχεια ζυγίστηκαν. Συνολικά συλλέχθηκαν 54 δείγματα στο $500\mu\text{m}$, 54 δείγματα στο $250\mu\text{m}$ και 6 δείγματα στο $63\mu\text{m}$. Τα δείγματα είχαν βάρος από 10g έως 17g. Η μαγνητική επιδεκτικότητα των δειγμάτων μετρήθηκε με την χρήση του μηχανήματος Bartington MS2 magnetic susceptibility meter το οποίο ήταν συνδεδεμένο με το MS2B dual frequency sensor και την βοήθεια του

προγράμματος Multisus2. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο συχνότητες, αρχικά σε χαμηλή συχνότητα (LF) με τιμή 0.46 kHz και στην συνέχεια σε υψηλή συχνότητα (HF) με τιμή 4.6 kHz, προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης χ_{fd} , επί τοις εκατό.

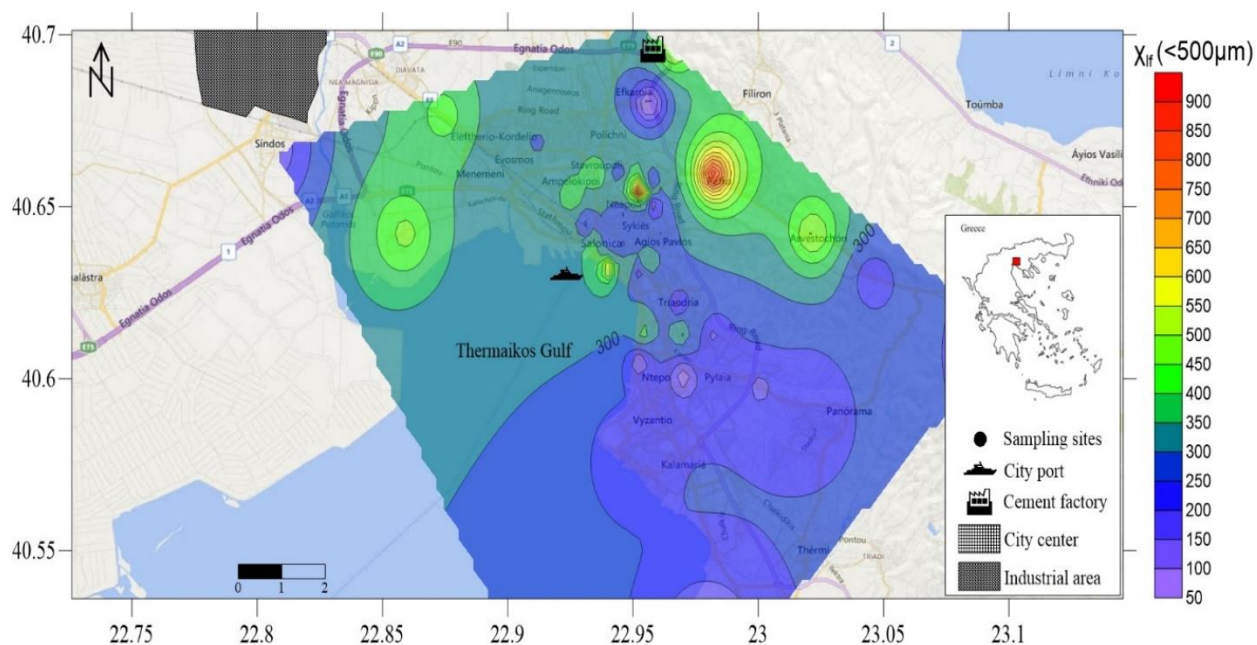


Σχήμα 7. Το μηχάνημα Bartington MS2 laboratory magnetic susceptibility meter (αριστερά) συνδεδεμένο με το MS2B dual frequency sensor (δεξιά) με τα οποία έγιναν οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

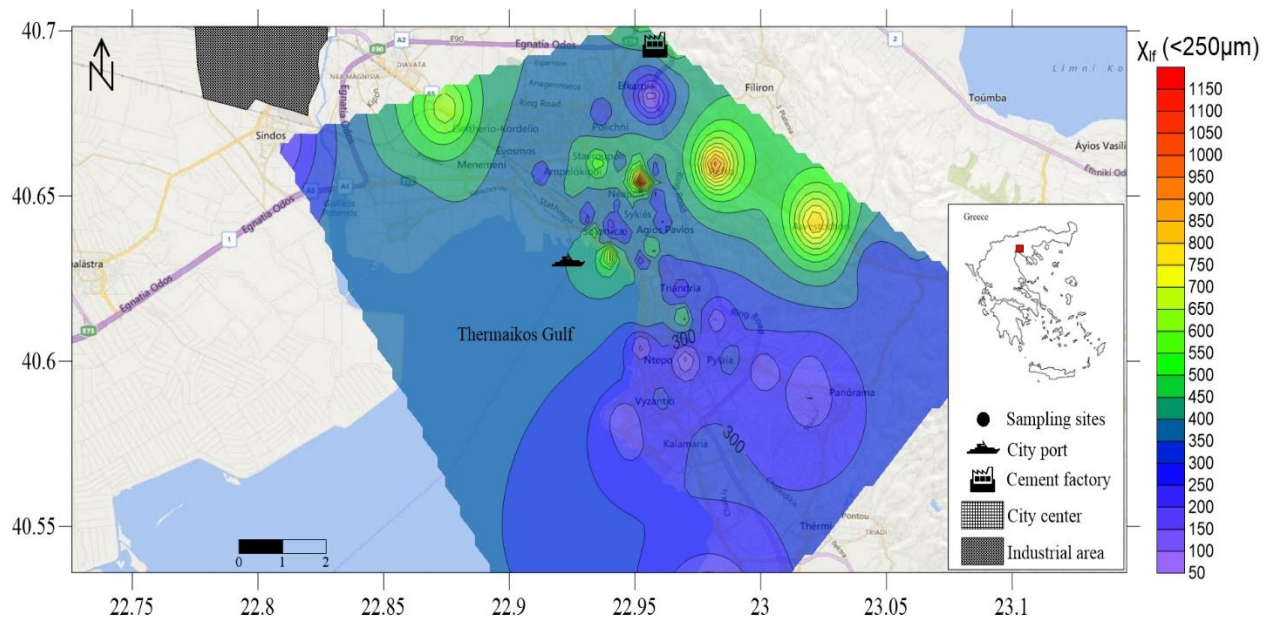
3. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας ήταν σε γενικές γραμμές μεγαλύτερες στην δυτική Θεσσαλονίκη. Αυξημένες τιμές παρουσίασαν και περιοχές του κέντρου της πόλης, ενώ στην ανατολική Θεσσαλονίκη οι τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας ήταν σχετικά χαμηλές. Σαφώς υπήρχαν διαφοροποιήσεις στις τιμές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, δηλαδή ανάλογα με τους παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας. Έτσι περιοχές με υψηλότερη κίνηση και παρουσία οχημάτων παρουσίασαν αυξημένες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας. Υψηλές τιμές είχαν και οι βιομηχανικές περιοχές όπως το TITAN και τα Ελληνικά Πετρέλαια. Επίσης υπήρχαν περιοχές οι οποίες εμφάνισαν πολύ

χαμηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως προάστιες περιοχές (πχ. Πυλαία, Πανόραμα, Χορτιάτης), αλλά και περιοχές με λιγότερη κίνηση και παρουσία οχημάτων καθώς και απουσία βιομηχανίας.

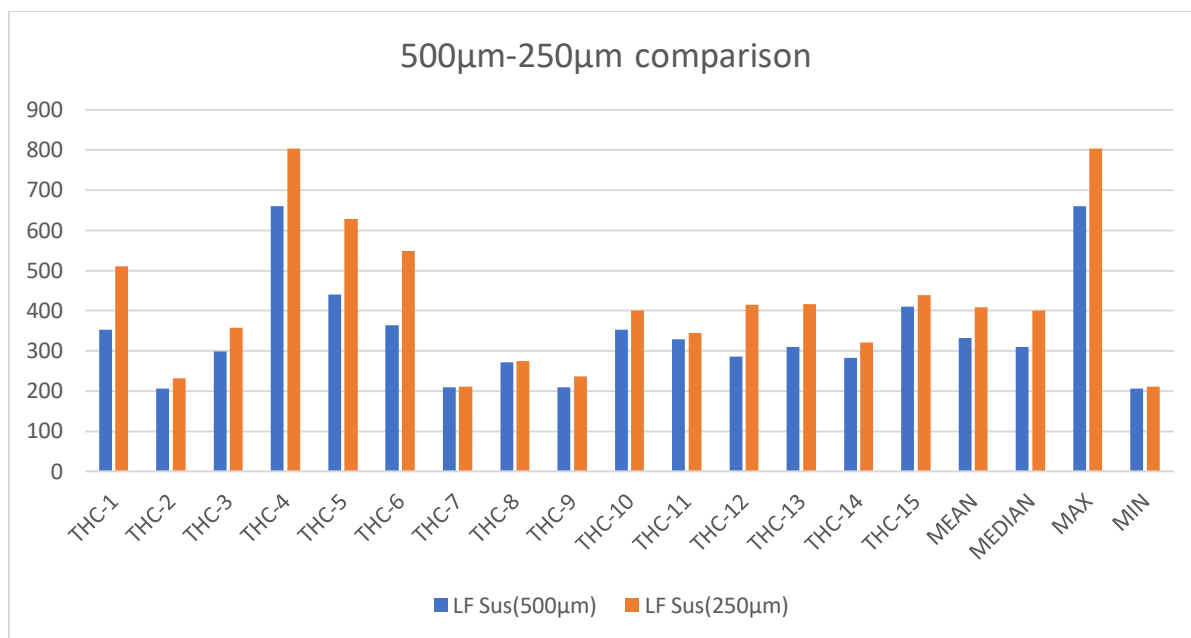


Σχήμα 8. Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας σύμφωνα με τις μετρήσεις στο κόσκινο των 500μm για την πόλη της Θεσσαλονίκης.

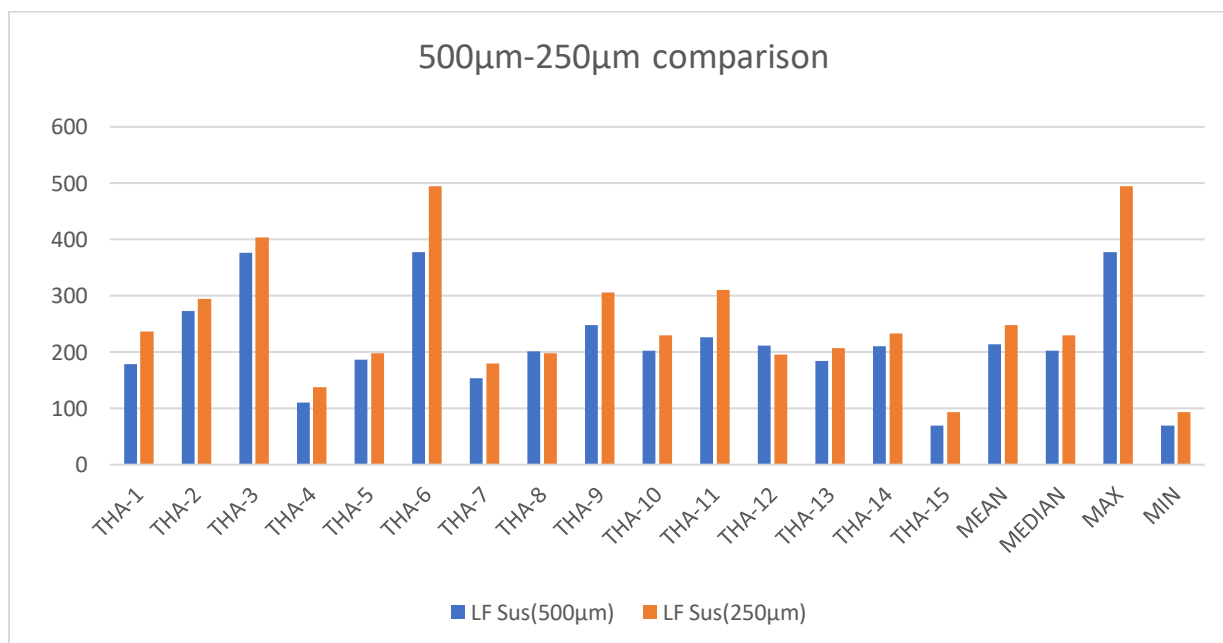


Σχήμα 9. Κατανομή μαγνητικής επιδεκτικότητας σύμφωνα με τις μετρήσεις στο κόσκινο των 250 μm για την πόλη της Θεσσαλονίκης.

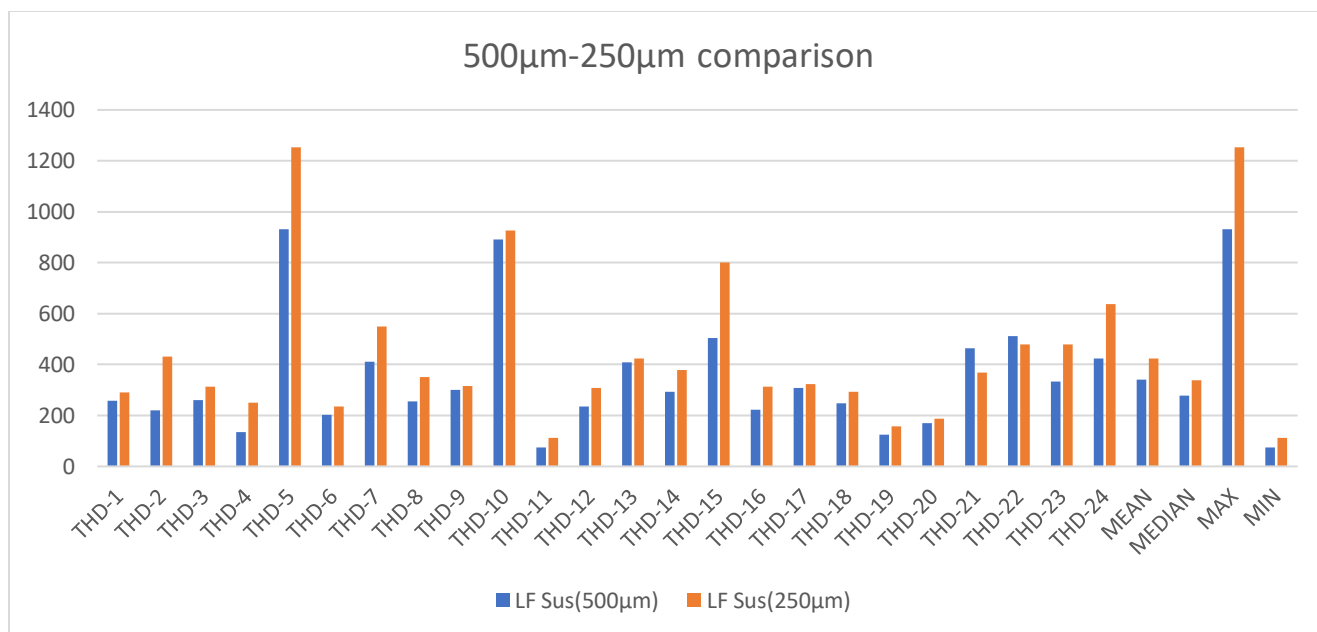
Πράγματι από την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας στα σχήματα 8 και 9, φαίνεται ότι υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας έχουμε σε κάποιες περιοχές του κέντρου, της δυτικής Θεσσαλονίκης και στις βιομηχανικές περιοχές. Συγκρίνοντας την κατανομή σύμφωνα με τις μετρήσεις στα κόσκινα των 250 μm και των 500 μm αξίζει να σημειωθεί ότι αν και στην κατανομή σύμφωνα με το κόσκινο των 250 μm έχουμε μεγαλύτερες τιμές, όπως ήταν φυσιολογικό, βλέπουμε ότι η κατανομή και στις δύο περιπτώσεις δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις, δηλαδή οι περιοχές που είχαν υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα στις μετρήσεις με το κόσκινο των 500 μm, έχουν και με το 250 μm. Αντίστοιχη εικόνα παρατηρείται και για τις χαμηλές τιμές.



Σχήμα 10. Σύγκριση των τιμών μαγνητικής επιδεκτικότητας από τα κόσκινα 500μm και 250μm για τις περιοχές του κέντρου.



Σχήμα 11. Σύγκριση των τιμών μαγνητικής επιδεκτικότητας από τα κόσκινα 500μm και 250μm για τις περιοχές της ανατολικής Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 12. Σύγκριση των τιμών μαγνητικής επιδεκτικότητας από τα κόσκινα 500μm και 250μm για τις περιοχές της δυτικής Θεσσαλονίκης.

Τα παραπάνω δεδομένα επαληθεύονται και από τα σχήματα 10, 11 και 12. Βλέπουμε από το κοσκίνισμα με διάμετρο 500 μm ότι τα δείγματα της δυτικής Θεσσαλονίκης εμφάνισαν σε γενικές γραμμές τις μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας με τον μέσο όρο να ξεπερνά τα $300 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Σε μερικές περιπτώσεις έφτασαν και τιμές που κυμαίνονται γύρω από το $900 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ σε περιοχές όπως στην οδό Ανδρέα Παπαδρέου (THD-5) και στον κεντρικό δρόμο του Ρετζικίου (THD-10). Ωστόσο υψηλές τιμές παρουσίασαν και άλλες περιοχές όπως η οδός Λαγκαδά (THD-7), ο κεντρικός δρόμος στο Ασβεστοχώρι (THD-15), και φυσικά οι βιομηχανικές περιοχές στο Καλοχώρι, στο TITAN και στα Ελληνικά Πετρέλαια (THD-21, THD-22, THD-24 αντίστοιχα), με τις τιμές να ξεπερνούν τα $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ και σε πολλές περιπτώσεις και τα $500 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$.

Οι περιοχές του κέντρου της πόλης έχουν λίγο μικρότερο μέσο όρο της μαγνητικής επιδεκτικότητας ξεπερνώντας όμως και εδώ τα $300 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Γενικά, υπάρχουν περιοχές οι οποίες έχουν σχετικά υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας όπως είναι η Λεωφόρος Νίκης-Αριστοτέλους (THC-4) με τιμή που υπερβαίνει τα $600 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, όπως επίσης και οι

περιοχές του λιμανιού της Θεσσαλονίκης (THC-5) και στην οδό Καρατάσου (THC-15), με τις τιμές να είναι γύρω στα $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Σε γενικές γραμμές όμως, οι περιοχές του κέντρου της πόλης έχουν χαμηλότερες τιμές από της δυτικής Θεσσαλονίκης.

Ακόμα πιο χαμηλές τιμές εμφάνισαν οι περιοχές της ανατολικής Θεσσαλονίκης, με τον μέσο όρο να είναι λίγο μεγαλύτερος από τα $200 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, με τις υψηλότερες τιμές να είναι χαμηλότερες από τα $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, συγκεκριμένα $376.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ και $377.4 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ στις οδούς της Βασιλίσσης Όλγας και Κλεάνθους αντίστοιχα (THA-3, THA-6). Όλα αυτά σαφώς απεικονίζονται καλύτερα και στο σχήμα 8, με την κατανομή της μαγνητικής επιδεκτικότητας.

	Group	Obs	Mean	SD	MIN	MAX	Variance
<500μm	THC	15	332.1	114.2	205.9	659.5	13049
	THA	15	213.9	83.09	69.7	377.4	6903
	THD	24	341	210.7	74.4	930.4	44410
	Grand Statistics (All data)	54	303.2	166.4	69.7	930.4	27683

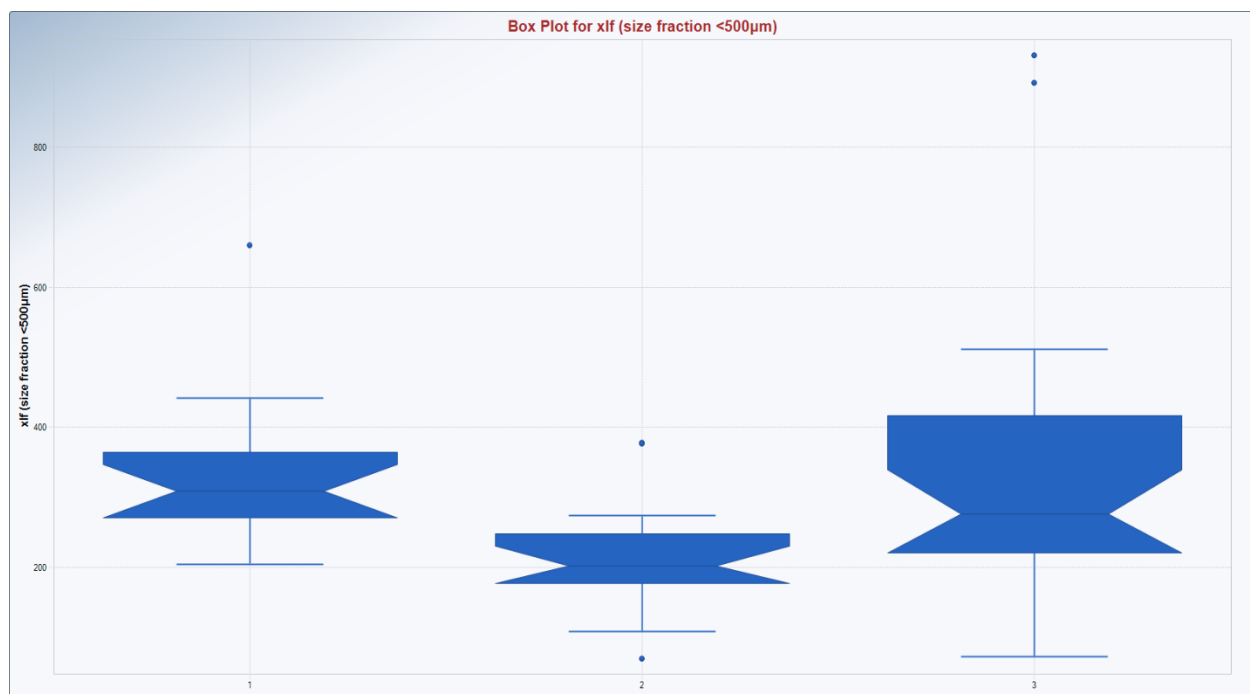
	Group	Obs	Mean	SD	MIN	MAX	Variance
<250μm	THC	15	409.2	162.3	210.2	803.9	26342
	THA	15	248	102	93.3	495	10413
	THD	24	424.1	259	112.5	1252.6	67084
	Grand Statistics (All data)	54	371	211.7	93.3	1256.6	44796

Πίνακας 3. Mean, SD, MIN και MAX τιμές για τα δείγματά μας, στο κόσκινο των 500μm και 250μm αντίστοιχα.

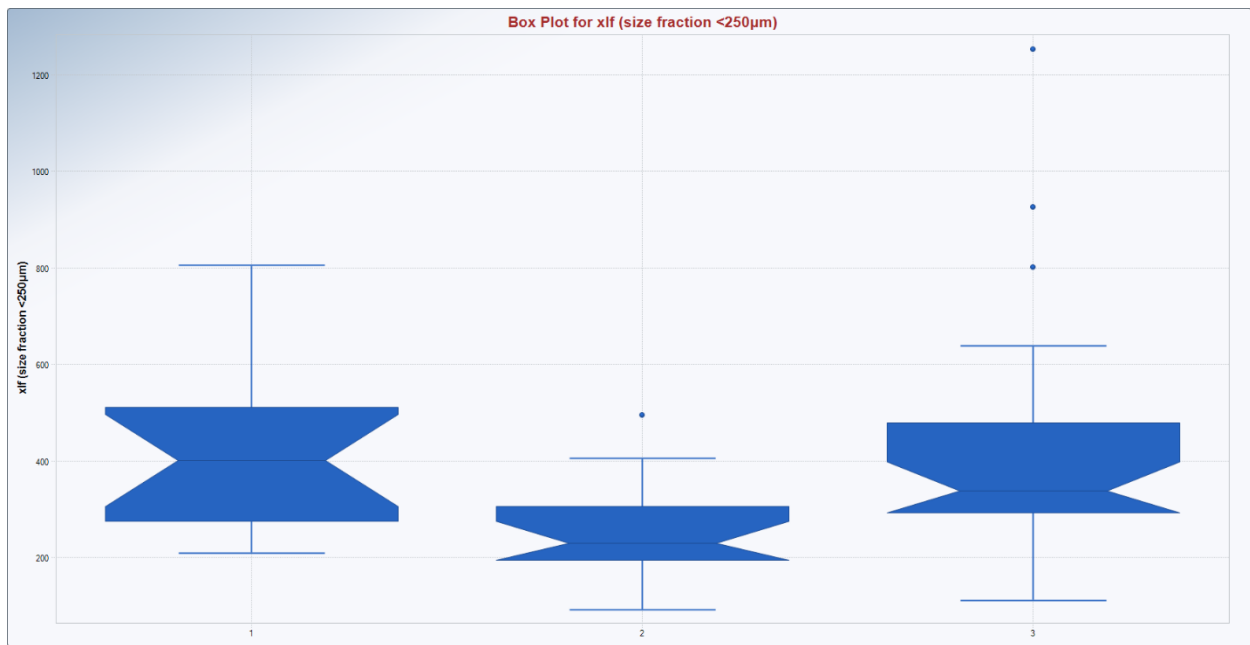
Παρόμοια εικόνα πήραμε και από τα δεδομένα των μετρήσεων με το κόσκινο με διάμετρο 250μm, όπου πάλι μεγαλύτερες τιμές είχαμε στην δυτική Θεσσαλονίκη, μετά στο κέντρο της πόλης και μετά στην ανατολική Θεσσαλονίκη.

Όπως ήταν αναμενόμενο, βλέπουμε μεγαλύτερες τιμές στα δείγματα που κοσκινίστηκαν στα 250μm. Συγκεκριμένα είχαμε μια αύξηση του μέσου όρου των μετρήσεων της τάξης του 19.58% στην δυτική Θεσσαλονίκη και στην περιοχή του κέντρου, ενώ αύξηση υπήρχε και στις τιμές της ανατολικής Θεσσαλονίκης, με την αύξηση αυτή όμως να μην ξεπερνάει το 16%.

Όπως φαίνεται στα σχήματα 10, 11 και 12, οι περιοχές με τις μεγαλύτερες τιμές στο προηγούμενο κοσκίνισμα, έχουν και εδώ τις μεγαλύτερες τιμές, παρουσιάζοντας ωστόσο αύξηση. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση στις θέσεις THD-5, με 34,63% αύξηση, THD-15, με 58.75% αύξηση και THD-24, με 50.54% αύξηση, δηλαδή στην οδό Ανδρέα Παπανδρέου, στον κεντρικό δρόμο του Ασβεστοχωρίου και στο TITAN αντίστοιχα, με τις τιμές να φτάνουν κοντά ή ακόμα και να ξεπερνούν τα $1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Για την ευρύτερη περιοχή του κέντρου σημαντική ήταν η αύξηση στις θέσεις THC-4, με 21.9% αύξηση, THC-5, με 42,61% αύξηση και THC-6, με 50.7% αύξηση, δηλαδή την οδό Λεωφόρου Νίκης, στο λιμάνι και στην Πολυτεχνείου, ξεπερνώντας τα $600 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ και σε μία περίπτωση ακόμα και τα $800 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Τέλος στην ανατολική Θεσσαλονίκη μεγαλύτερη αύξηση παρουσίασαν οι περιοχές THA-3, με αύξηση 7.25% και THA-6, με αύξηση 31.16%, δηλαδή οι περιοχές της Βασιλίσσης Όλγας και της Κλεάνθους, χωρίς όμως να είναι της ίδιας τάξης με αυτές του δυτικού μέρους και του κέντρου της πόλης (μικρότερες τιμές από $500 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$).

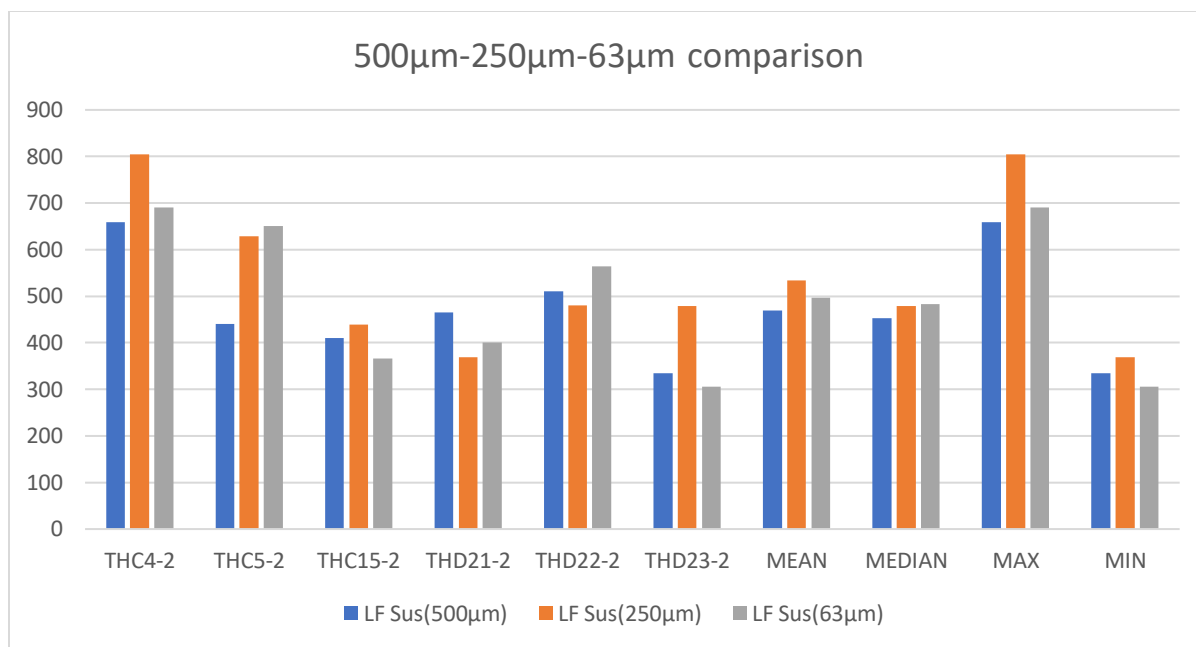


Σχήμα 13. Box plot για $x_{lf}(500\mu\text{m})$ Αριστερά οι τιμές για το κέντρο της πόλης, στην μέση της ανατολικής Θεσσαλονίκης και στα δεξιά της δυτικής.



Σχήμα 14. Box plot για x_{lf} ($250\mu m$) Αριστερά οι τιμές για το κέντρο της πόλης, στην μέση της ανατολικής Θεσσαλονίκης και στα δεξιά της δυτικής.

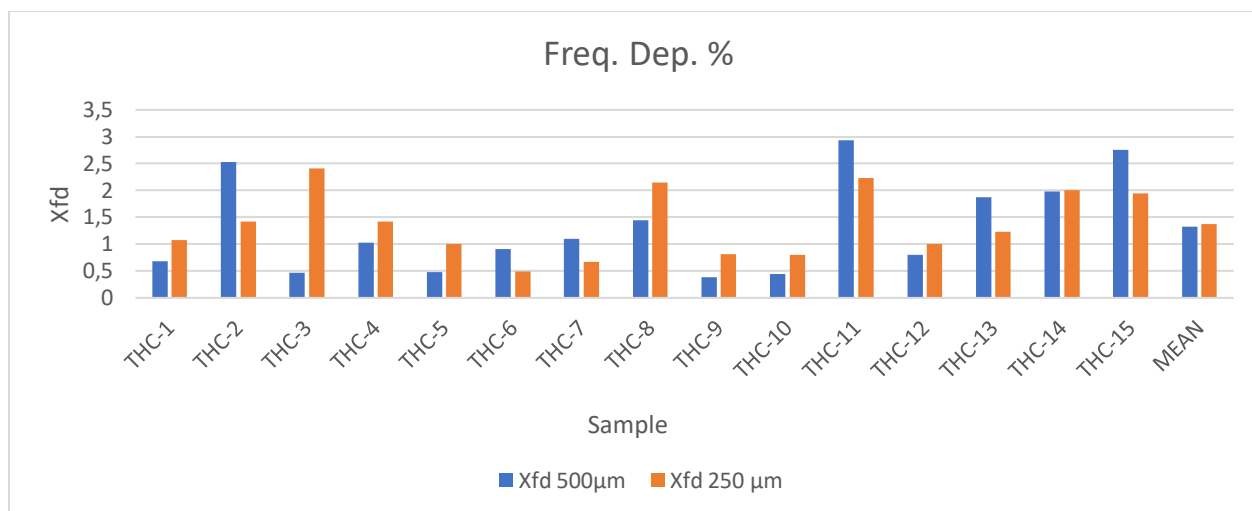
Για τις περιοχές με τις μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας, πήραμε δείγματα και τα κοσκινίσαμε και στα $63\mu m$. Οι τιμές αυτήν την φορά εμφάνισαν άλλες φορές αύξηση και άλλες φορές μείωση. Δυστυχώς δεν καταφέραμε να έχουμε δείγμα για όλες τις περιοχές με αυξημένες τιμές.



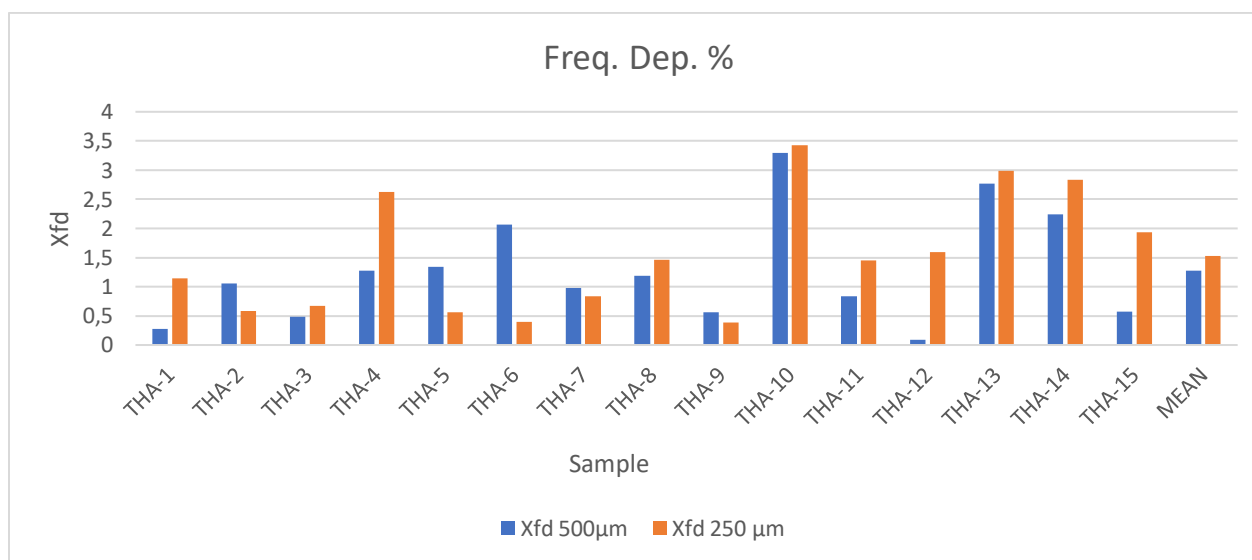
Σχήμα 15. Σύγκριση των τιμών μαγνητικής επιδεκτικότητας για τις δειγματοληπτικές θέσεις για τα κόσκινα 500μm, 250μm και 63μm.

Αν συγκρίνουμε τα δεδομένα του σχήματος 15 με αυτά των σχημάτων 10 και 12, βλέπουμε ότι στις περιοχές THC-4, THC-15 και THD-23 είχαμε μείωση σε σχέση με το κλάσμα των 250 μm της τάξης του 14.16%, του 16.68% και του 36.13% αντίστοιχα στις μετρήσεις μας. Αντίθετα στην περιοχή THC5-2 υπήρχε αύξηση 3.45% ενώ στην περιοχή THD22-2 η αύξηση έφτασε το 17.65%.

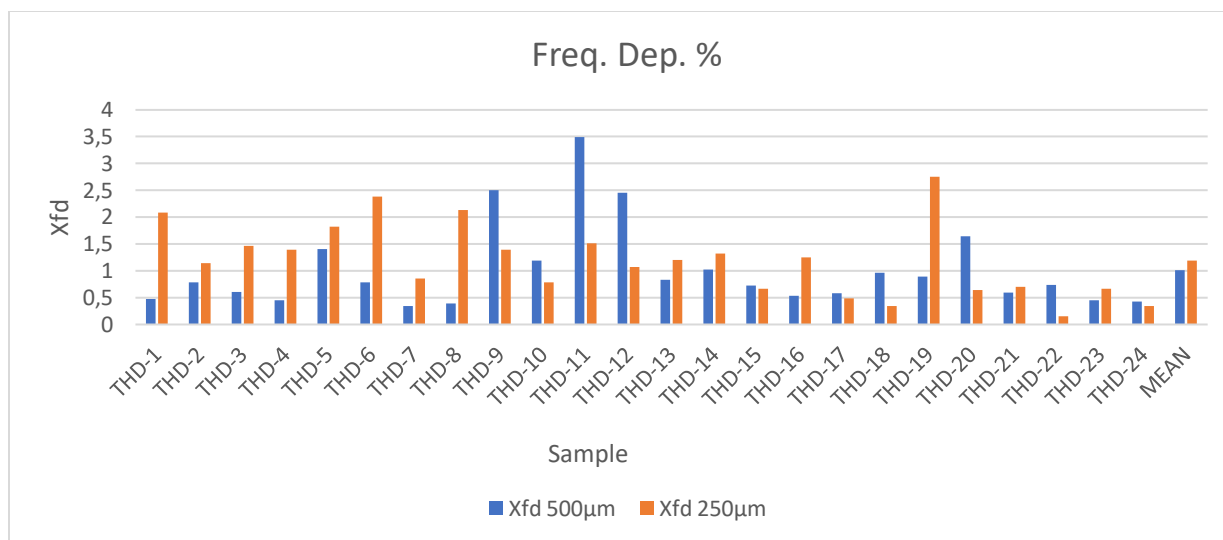
Όσον αφορά τις τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας που εξαρτώνται από την συχνότητα, δηλαδή της χ_{fd} , ήταν άλλες φορές μεγαλύτερες στα δείγματα των 500μm και άλλες στα δείγματα των 250μm. Σε κάθε περίπτωση όμως καμία τιμή δεν ξεπέρασε το 3.5%, φανερώνοντας έτσι η σκόνη δρόμου προήλθε κυρίως από ανθρωπογενείς διεργασίες.



Σχήμα 16. Οι x_{fd} (%) για την περιοχή του κέντρου. Με μπλε οι x_{fd} (%) των 500μm και με πορτοκαλί οι x_{fd} (%) των 250 μm.



Σχήμα 17. Οι x_{fd} (%) για την ανατολική Θεσσαλονίκη. Με μπλέ οι x_{fd} (%) των 500 μm και με πορτοκαλί οι x_{fd} (%) 250μm.



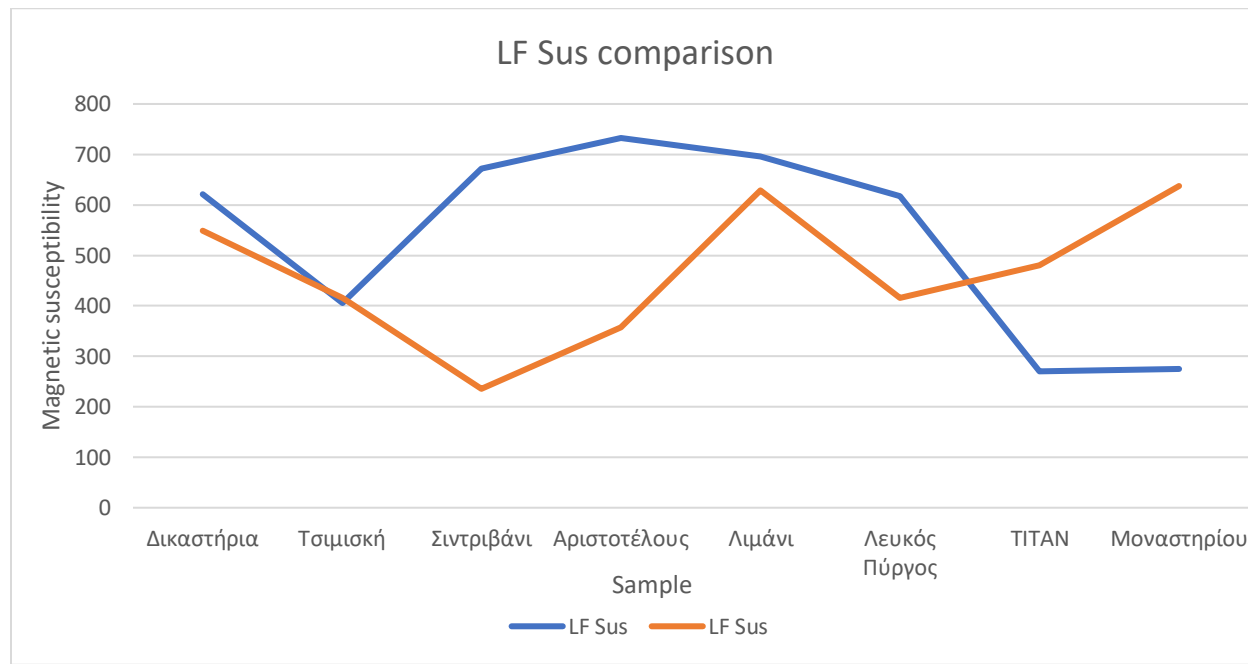
Σχήμα 18. Οι $x_{fd}(\%)$ για την δυτική Θεσσαλονίκη. Με μπλέ οι $x_{fd}(\%)$ των 500 μm και με πορτοκαλί οι $x_{fd}(\%)$ 250 μm .

4. Συζήτηση αποτελεσμάτων

Οι υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας μας βοηθάνε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στις περιοχές προσδιορίζοντας έτσι τα σημεία που έχουν αυξημένη ρύπανση. Από τα παραπάνω δεδομένα βλέπουμε ότι υψηλότερο μέσο όρο μαγνητικής επιδεκτικότητας έχουν οι βιομηχανικές περιοχές με τιμή $430.5 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ (LF Sus, 250 μm). Ακολουθούν οι αστικές περιοχές με μέσο όρο $375 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ (LF Sus, 250 μm) ενώ τον χαμηλότερο μέσο όρο τον έχουν οι προάστιες περιοχές με $252.13 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ (LF Sus, 250 μm). Έχουμε έτσι μια πρώτη εικόνα σχετικά με την συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην Θεσσαλονίκη καθώς και τις περιοχές αυξημένης ρύπανσης.

Στην πόλη της Θεσσαλονίκης έχουν πραγματοποιηθεί και στο παρελθόν αντίστοιχες μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας σε σκόνες δρόμων. Συγκρίνοντας λοιπόν τις τιμές που προέκυψαν στην παρούσα μελέτη με παλαιότερες μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας (Ιούλιος 2010, Bourliva et al. 2018), βλέπουμε ότι στις δυτικές περιοχές της πόλης (όπου έγινε δειγματοληψία

στις ίδιες θέσεις), η μαγνητική επιδεκτικότητα γενικά μειώθηκε σημαντικά τα τελευταία έντεκα χρόνια. Αντίθετα οι βιομηχανικές περιοχές εμφάνισαν αύξηση των τιμών (Σχήμα 19).



Σχήμα 19. Σύγκριση τιμών μαγνητικής επιδεκτικότητας σε κοινές θέσεις δειγματοληψίας μεταξύ 2010 και 2021 για LF. Με μπλέ οι τιμές του 2010 (Bourliva et al. 2018). Με πορτοκαλί οι τιμές του 2021.

Υπάρχουν σημεία όπου δεν υπήρχε μεγάλη διαφοροποίηση στην μαγνητική επιδεκτικότητα τα τελευταία 11 χρόνια. Έτσι στο Λιμάνι, στα Δικαστήρια και στην Τσιμισκή, η διαφορά είναι μικρότερη των $100 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Οι υπόλοιπες περιοχές του κέντρου (Σιντριβάνι, Αριστοτέλους, Λευκός Πύργος) παρουσίασαν μεγάλη διαφορά στις τιμές, η οποία ξεπέρασε ακόμα και τα $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Συγκεκριμένα στο Σιντριβάνι και στην Εγνατία-Αριστοτέλους η διαφορά είναι λίγο παραπάνω και λίγο λιγότερο από $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ αντίστοιχα. Στις βιομηχανικές περιοχές τα πράγματα είναι διαφορετικά. Στη Μοναστηρίου και στο TITAN, η μαγνητική επιδεκτικότητα αυξήθηκε περίπου $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ τα τελευταία 11 χρόνια.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η σύγκριση των τιμών μας με τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας από την περιοχή Luoyang City της Κίνας. Από τον πίνακα 4 φαίνεται ότι στην Luoyang City οι βιομηχανικές περιοχές φτάνουν σε τιμές πολύ μεγαλύτερες από τις δικές μας, ξεπερνώντας τα

$1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Η παραπάνω διαφορά είναι απολύτως δικαιολογημένη καθώς η Κίνα έχει πολύ μεγαλύτερη βιομηχανία από ότι η Ελλάδα και έτσι είναι φυσιολογικό οι βιομηχανικές περιοχές της Luoyang City να έχουν μεγαλύτερες τιμές. Αντίθετα οι αστικές περιοχές στην Θεσσαλονίκη έχουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές από της Luoyang City οι οποίες έχουν εύρος $106\text{--}288 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Αυτή η σύγκριση μπορεί να μας φανεί περίεργη δεδομένου ότι η Luoyang City έχει σχεδόν εφταπλάσιο πληθυσμό από την Θεσσαλονίκη. Όμως θα πρέπει να αναλογιστούμε ότι μεγάλος μέρος του πληθυσμού κινείται με άλλους τρόπους όπως το μετρό με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν στους δρόμους όσα οχήματα περιμέναμε. Σε κάθε περίπτωση όμως το γεγονός ότι στην Θεσσαλονίκη συναντάμε μεγαλύτερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας από ότι σε μια πόλη με 7 φορές μεγαλύτερο πληθυσμό, είναι ανησυχητικό. Ακόμα υπάρχουν και άλλες τιμές όπως είναι το $115.6 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ από το Ελσίνκι της Φινλανδίας (Bucko et al. 2009) και το $62 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ από την Σεούλ της Νότιας Κορέας (Kim et al. 2007). Αυτές οι τιμές είναι αρκετά χαμηλές και θα μπορούσαν να αντιστοιχούν σε προάστια περιοχές μας. Μάλιστα είναι αρκετά ενδιαφέρον το γεγονός ότι μια πόλη σαν την Σεούλ, με πληθυσμό κοντά στα 10 εκατομμύρια έχει τόσο μικρή τιμή μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Magnetic parameters		Industrial Area (n = 50)	Roadside (n = 66)	Residential and commercial areas (47)	Parks and green areas (52)
$\chi_{lf}(10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1})$	Range	111–1128	89–567	106–288	31–186
	Mean $\pm$ SD	313 $\pm$ 149	236 $\pm$ 74	182 $\pm$ 40	123 $\pm$ 23
	Median	256	210	171	125
χ_{fd} (%)	Range	05–6.9	0.2–8.6	2.1–9.2	0.8–10.9
	Mean $\pm$ SD	3.3 $\pm$ 1.2	3.5 $\pm$ 1.6	4.9 $\pm$ 1.4	5.8 $\pm$ 2.2
	Median	3.2	3.0	4.8	6.3
IRM _{20mT} ($10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$)	Range	1378–86 813	1335–10 319	1088–9072	164–8195
	Mean $\pm$ SD	6956 $\pm$ 4943	3693 $\pm$ 1200	3031 $\pm$ 1127	2074 $\pm$ 840
	Median	3989	3337	2558	1998
SIRM ($10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$)	Range	8124–96 977	8393–56 247	8124–41 398	2362–22 504
	Mean $\pm$ SD	32 801 $\pm$ 15 129	24 499 $\pm$ 7287	20 748 $\pm$ 6085	12 545 $\pm$ 3589
	Median	29 314	23 859	19 220	12 460
HIRM ($10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$)	Range	10–18 377	69–18 667	27–6192	11–2093
	Mean $\pm$ SD	2023 $\pm$ 1262	1536 $\pm$ 846	1184 $\pm$ 566	1080 $\pm$ 590
	Median	1386	1244	1022	962
S _{100mT} ratio (%)	Range	50.7–95.0	46.4–97.7	31.9–76.5	40.1–73.3
	Mean $\pm$ SD	68.2 $\pm$ 5.8	64.9 $\pm$ 4.9	62.4 $\pm$ 5.6	58.0 $\pm$ 6.0
	Median	68.5	64.3	62.5	58.3

Πίνακας 4. Μετρήσεις μαγνητικής επιδεκτικότητας στη Luoyang City (Lu. et al. 2007)

Μέσα από αυτές τις διαφοροποιήσεις μπορούμε να εξάγουμε μερικά συμπεράσματα σχετικά με την πιθανή ρύπανση στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης καθώς και για την καθημερινότητα. Οι μειωμένες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας, κυρίως στις θέσεις με μεγάλη διαφορά (Σιντριβάνι, Αριστοτέλους, Λευκός Πύργος), συνεπάγονται μείωση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων. Αυτό οδηγεί σε πιθανή μείωση της ρύπανσης. Αντίστοιχα οι αυξημένες τιμές της μαγνητικής επιδεκτικότητας δείχνουν άνοδο της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων. Δηλαδή σε αυτά τα σημεία (Μοναστηρίου, TITAN) ίσως να έχουμε αυξημένη ρύπανση σε σχέση με πριν 11 χρόνια. Όσον αφορά την καθημερινότητα, η μείωση της μαγνητικής επιδεκτικότητας κυρίως στις αστικές περιοχές μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά οχήματα πλέον έχουν διαφορετικές λειτουργίες, όπως αέριο αντί για βενζίνη και νέες τεχνολογίες οι οποίες είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Άλλα στοιχεία που αντλούμε από τις μελέτες που έγιναν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Bourliva et al. 2016, 2018), είναι ότι οι αστικές περιοχές είχαν μεγάλη παρουσία πολλών βαρέων μετάλλων όπως Cr, Cu, Pb, Cd, Mn και Ni, ενώ οι βιομηχανικές είναι πλούσιες κυρίως σε Mn και Zn, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν έχουν αξιοσημείωτη συγκέντρωση άλλων βαρέων μετάλλων. Αυτές οι μελέτες επομένως έρχονται για να βοηθήσουν να κατανοήσουμε τις υψηλές τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και να επιβεβαιώσουν τις μετρήσεις μας.

Επιπροσθέτως, μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Κίνα (Lu, et al. 2007) εξάγουν παρόμοια συμπεράσματα, δηλαδή υψηλότερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας σε βιομηχανικές περιοχές και μετά σε αστικές. Παρόμοια ήταν η κατανομή και συγκέντρωση των στοιχείων στις αντίστοιχες περιοχές. Αυτή η εργασία είναι πολύ σημαντική γιατί περιγράφει τις διαδικασίες κατά τις οποίες εκκρίνονται διάφορα βαρέα μέταλλα. Φαίνεται ότι το Cu προέρχεται κυρίως από τα ρουλεμάν, τα φρένα και από άλλα μέρη των μηχανών των οχημάτων. Η διάβρωση τους προκαλεί φθορά της μηχανής και έτσι απελευθερώνεται Cu. Πολλές χημικές ενώσεις με Zn χρησιμοποιούνται στα λάδια αυτοκινήτων, ενώ μεγάλη ποσότητα Zn ελευθερώνεται κατά της φθορά των ελαστικών. Τέλος μεγαλύτερος δείκτης για την ρύπανση που οφείλεται στην παρουσία οχημάτων, αποτελεί το Pb το οποίο μένει συνεχώς στους δρόμους.

Στις περιβαλλοντικές μελέτες συναντάμε συχνά διάφορους δείκτες ρύπανσης (I_{geo} , PLI, RI). Οι δείκτες ρύπανσης είναι ανάλογοι με τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων. Όμως όπως

αναφέρθηκε σε γενικές γραμμές υπάρχει συσχετισμός μεταξύ βαρέων μετάλλων και μαγνητικής επιδεκτικότητας. Έτσι θέσεις με υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα έχουν κατά πάσα πιθανότητα μεγάλη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές των δεικτών ρύπανσης. Επομένως, περιοχές με υψηλή μαγνητική επιδεκτικότητα έχουν περισσότερες πιθανότητες να έχουν αυξημένη ρύπανση.

Με όλα τα δεδομένα που αντλούμε από αυτές τις μελέτες, καταλαβαίνουμε ότι είναι απολύτως φυσιολογικό οι βιομηχανικές περιοχές να έχουν την υψηλότερη μαγνητική επιδεκτικότητα. Πιθανότατα υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση Zn και Mn σε αυτά τα δείγματα. Με βάση τον συσχετισμό βαρέων μετάλλων και μαγνητικής επιδεκτικότητας, μπορούμε να πούμε ότι σε αυτά τα σημεία υπάρχουν γενικά μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και έτσι μεγαλύτερες πιθανότητες αυξημένης ρύπανσης. Επομένως οι βιομηχανικές περιοχές είναι πολύ πιθανό να είναι οι πιο μολυσμένες περιοχές της Θεσσαλονίκης.

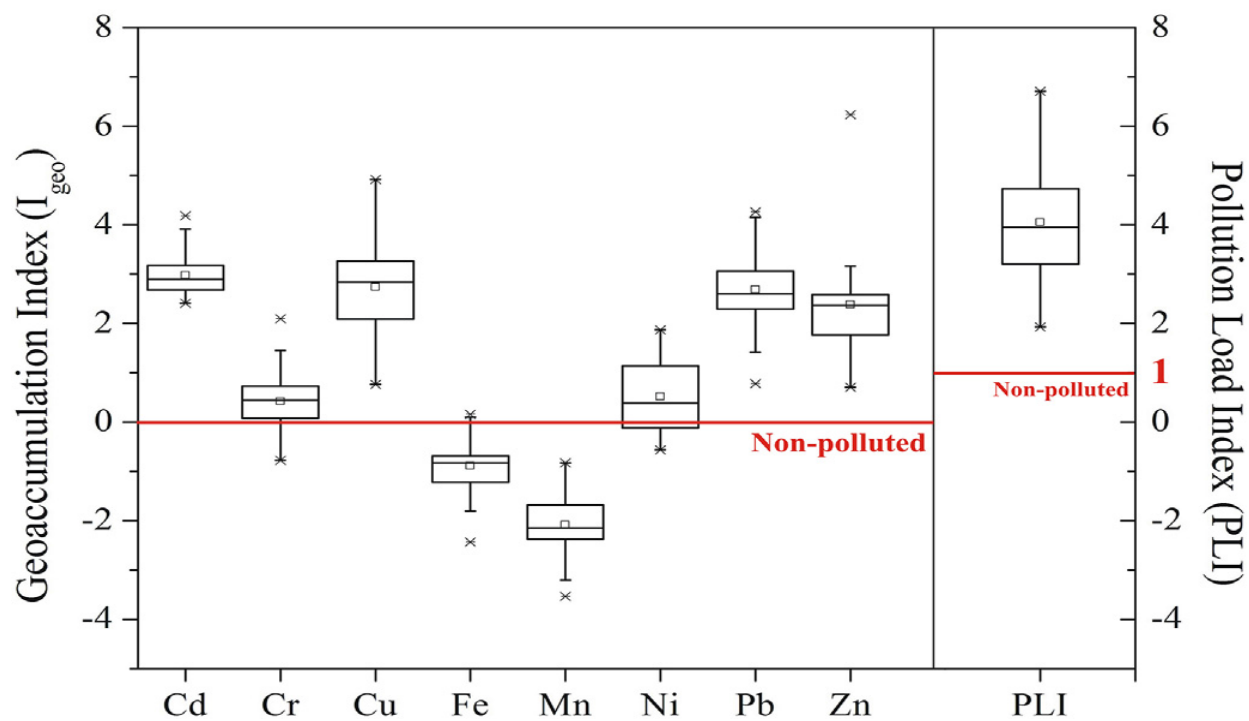
Πιθανές εστίες ρύπανσης είναι και οι αστικές περιοχές. Με μέσο όρο τιμών τα $375 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ (LF, 250μm) είναι πολύ πιθανό να υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων. Αναμένουμε μικρότερη ρύπανση σε αυτές τις περιοχές από ότι τις βιομηχανικές, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι θέσεις αυτές είναι ασφαλείς. Οι προάστιες περιοχές έχουν τις μικρότερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πολύ μικρότερη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων. Έτσι εδώ περιμένουμε, όπως ήταν λογικό, την μικρότερη ρύπανση.

Ωστόσο, αν και ο μεγαλύτερος μέσος όρος τιμών εντοπίζεται στις βιομηχανικές περιοχές, είδαμε ότι οι μέγιστες τιμές εμφανίστηκαν σε αστικές περιοχές ξεπερνώντας κατά πολύ τον μέσο όρο των βιομηχανικών ($430 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$) και φτάνοντας ακόμα και τιμές μεγαλύτερες από τα $1000 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$. Το γεγονός αυτό δεν θα έπρεπε να μας προβληματίζει. Όλα τα σημεία με πολύ μεγάλες τιμές, δηλαδή THC-4, THC-5, THC-6, THA-6, THD-5, THD-10, THD-15, αντιστοιχούν σε περιοχές οι οποίες έχουν ίσως την μεγαλύτερη κίνηση και παρουσία οχημάτων στην Θεσσαλονίκη. Συγκεκριμένα οι THC-4, THC-5, THC-6 είναι η Λεωφόρος Νίκης-Αριστοτέλους, το λιμάνι και η Πολυτεχνείου αντίστοιχα. Οι THD-5, THD-10, THD-15 είναι η Ανδρέα Παπανδρέου (ύψος κόκκορα), ο κεντρικός δρόμος του Ρετζικίου και ο κεντρικός δρόμος του Ασβετοχωρίου αντίστοιχα, ενώ η THA-6 αντιστοιχεί στην Κλεάνθους. Πράγματι παρατηρώντας την κίνηση σε αυτούς τους δρόμους σε καθημερινή βάση για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι απολύτως λογικό να υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, Cu από

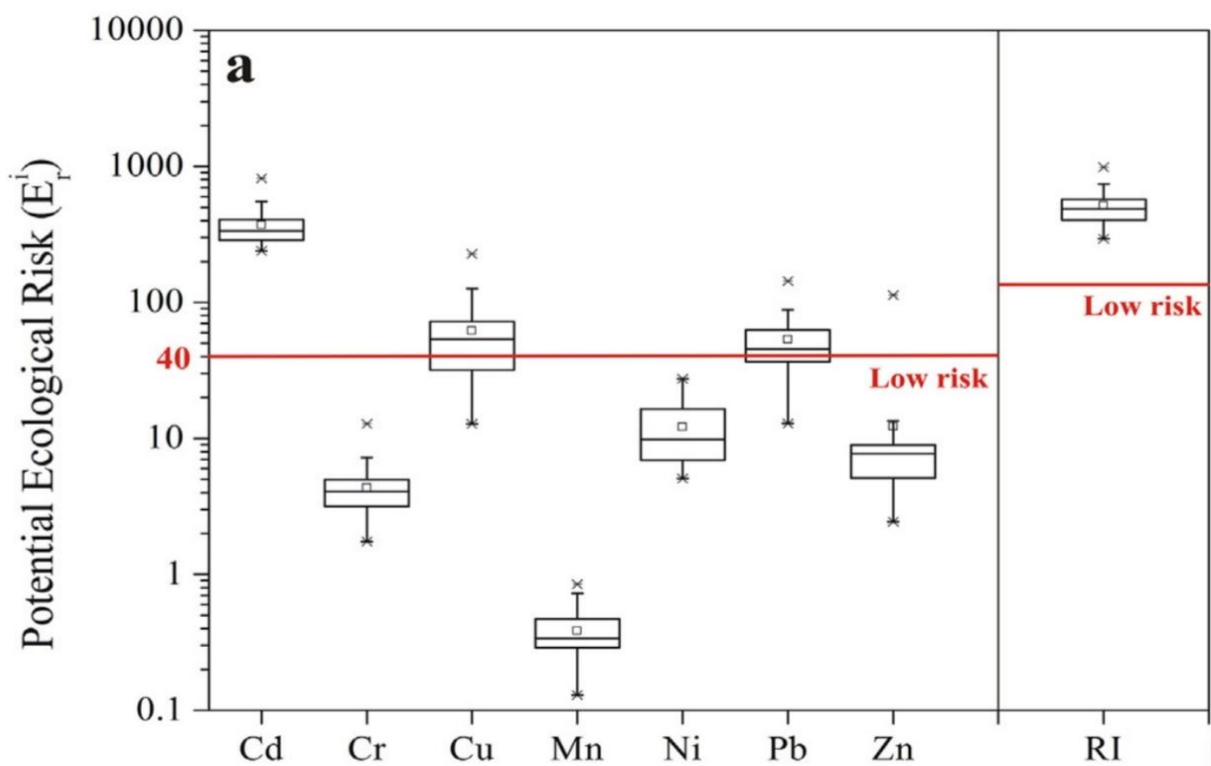
μέρη των μηχανών, Zn από φθορά ελαστικών, και Pb. Μάλιστα παρατηρείται ότι οι τιμές είναι μεγαλύτερες όσο μεγαλώνει και κίνηση. Η κίνηση στις περιοχές ακολουθεί την εξής φθίνουσα σειρά : THD-5>THD-10>THC-4>THD-15>THC-5>THC-6>THA-6, όπως ακριβώς και οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας. Επομένως μπορεί σε γενικές γραμμές οι βιομηχανικές περιοχές να έχουν πιθανόν την μεγαλύτερη ρύπανση, αλλά ίσως να υπάρχουν κάποιες άλλες περιοχές διάσπαρτες στην πόλη (THC-4, THC-5, THC-6, THA-6, THD-5, THD-10, THD-15), οι οποίες να έχουν μεγαλύτερη ρύπανση, ακόμα και από τις βιομηχανικές.

Ένας από τους λόγους που θέλουμε να υπολογίσουμε την μαγνητική επιδεκτικότητα και τους δείκτες ρύπανσης, είναι για να ορίσουμε τους ενδεχόμενους κινδύνους για την υγεία μας. Παλαιότερες εργαστηριακές μελέτες υπολόγισαν τους δείκτες μόλυνσης για κάθε ένα από τα βαρέα μέταλλα. Σύμφωνα με τον δείκτη συσσώρευσης (I_{geo}) και τον δείκτη φορτίου ρύπανσης (PLI), φαίνεται ότι στοιχεία όπως Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr μολύνουν πιο πολύ την ατμόσφαιρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 20. Ο δείκτης πιθανού οικολογικού ρίσκου δείχνει ότι μεγαλύτερο ρίσκο έχει το Cd, με τα Cu και Pb να ακολουθούν (σχήμα 21).

Μέσα από χημικές αναλύσεις των στοιχείων ορίζονται ποια από αυτά είναι επιβλαβή για την υγεία (εκτός από τον καρκίνο). Τα βαρέα μέταλλα προκαλούν κυρίως προβλήματα στο γαστρεντολογικό σύστημα. Επιπτώσεις έχουν και στο δέρμα, προκαλώντας δερματολογικά προβλήματα, καθώς και αναπνευστικά. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι τα ποσοστά των στοιχείων που επηρεάζουν την υγεία, είναι λίγο διαφορετικά στους ενήλικους και στους ανήλικους, με τις βασικές διαφορές να είναι ότι το Cr επηρεάζει πιο πολύ τους ενήλικους σε σχέση με τους ανήλικους και το Pb επηρεάζει περισσότερο τα παιδιά.



Σχήμα 20. Εκτίμηση της μόλυνσης με βάση τους I_{geo} και τους PLI (Bourliva et al. 2018).



Σχήμα 21. Εκτίμηση του πιθανού οικολογικού ρίσκου E_r^i και RI (Bourliva et. Al. 2018).

5. Συμπεράσματα

Κατά την περίοδο του καλοκαιριού συλλέξαμε δείγματα σκόνης δρόμου (road dust) από 54 σημεία της Θεσσαλονίκης με σκοπό να υπολογίσουμε την μαγνητική επιδεκτικότητα έτσι ώστε να προσδιορίσουμε τις πιθανές περιοχές ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον της πόλης. Οι βιομηχανικές περιοχές (Σίνδος, TITAN, Καλοχώρι, Ελληνικά Πετρέλαια) εμφάνισαν τον μεγαλύτερο μέσο όρο μαγνητικής επιδεκτικότητας με $430.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Λίγο χαμηλότερες τιμές εμφανίστηκαν στις αστικές περιοχές του δυτικού μέρους της πόλης. Η ανατολική Θεσσαλονίκη είχε πολύ μικρότερες τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πήραμε, καταλαβαίνουμε ότι την πιο πιθανή εστία μόλυνσης αποτελούν οι βιομηχανικές περιοχές. Ωστόσο πιθανές εστίες ρύπανσης είναι και οι δυτικές αστικές περιοχές, κυρίως οι περιοχές με αυξημένη κίνηση και παρουσία οχημάτων. Μάλιστα, αν και οι βιομηχανικές περιοχές είχαν μεγαλύτερο μέσο όρο μαγνητικές επιδεκτικότητας, τις μεγαλύτερες τιμές από όλη την πόλη, τις συναντήσαμε στην δυτική Θεσσαλονίκη.

Συγκριτικά με τα αποτελέσματα του 2010 για τις ίδιες περιοχές και το ίδιο χρονικό διάστημα, παρατηρούμε ότι τα τελευταία 11 χρόνια υπάρχει σημαντική μείωση των τιμών της μαγνητικής επιδεκτικότητας στις αστικές περιοχές της πόλης. Αντίθετα μεγάλη αύξηση των τιμών έχουμε στις βιομηχανικές περιοχές. Αυτές οι μεταβολές οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως μείωση κίνησης και χρήση άλλων υλικών. Έτσι υπάρχουν καλές πιθανότητες να έχουμε μεγαλύτερη ρύπανση στις βιομηχανικές περιοχές σήμερα από παλιά και λιγότερη στις αστικές.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση της ανθρωπογενούς επίδρασης στην περιβαλλοντική απεικόνιση της πόλης της Θεσσαλονίκης. Παρόλα αυτά, για τον πλήρη χαρακτηρισμό των πιθανών περιοχών αυξημένης ρύπανσης που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της κατανομής της μαγνητικής επιδεκτικότητας, αλλά και την εύρεση των πιθανών πηγών της ρύπανσης σε αυτές τις περιοχές, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των χημικών στοιχείων που είναι κυρίαρχα στις σκόνες των δρόμων.

6. Βιβλιογραφία

- Billah, A., 2016. Investigation of multiferroic and photocatalytic properties of Li doped BiFeO₃ nanoparticles prepared by ultrasonication. DOI:10.13140/RG.2.2.23988.76166
- Bityukova, L., Scholger, R., Birke, 1999. Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallinn. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy. 24:9, 829-835.
- Bourliva, A., Kantiranis, N., Papadopoulou, L., Aidona, E., Christophoridis, C., Kollias, P., Evgenakis, M., Fytianos, K., 2018. Seasonal and spatial variations of magnetic susceptibility and potentially toxic elements (PTEs) in road dusts of Thessaloniki city, Greece: A one-year monitoring period. Science of the Total Environment 639 (2018) 417-427.
- Bourliva, A., Papadopoulou, L., Aidona, E., 2016. Study of road dust magnetic phases as the main carrier of potentially harmful trace elements. Science of the Total Environment 553 (2016) 380–391.
- Bučko, M.S., Magiera, T., Pesonen, L.J., Janus, B., 2009. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes-case study from Finland. Water Air Soil Pollut. 209, 295–306.
- Dobrin M., 1976. Introduction to Geophysical Prospecting, New York, McGraw Hill Book Comp. Inc.
- Imhmed S., 2012. Application of magnetic susceptibility measurements to oilfield scale management. Doctor of Philosophy Thesis in petroleum engineering, Herriot-Watt University, Edinburgh, Scotland, UK.
- Kim, W., Doh, S.-J., Park, Y.-H., Yun, S.-T., 2007. Two-year magnetic monitoring in conjunction with geochemical and electron microscopic data of roadside dust in Seoul, Korea. Atmos. Environ. 41, 7627–7641.

- Liu, Q., & Roberts, A., Larrasoña, J., Banerjee, S., Guyodo, Y., Tauxe, L., Oldfield, Fk. 2012. Environmental Magnetism: Principles and Applications. Reviews of Geophysics. 10.1029/2012RG000393. Environmental Magnetism.
- Lu, S. G., Bai, S. Q., Xue, Q. F., 2007. Magnetic properties as indicators of heavy metals pollution in urban topsoils: a case study from the city of Luoyang, China. Geophysical Journal International 171 (2007) 568-580. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2007.03545.x
- Orosun, M., Oniku, A. S Orosun, R., Salawu, N., Louis, H., Adie, P., 2019. Magnetic susceptibility measurement and heavy metal pollution at an automobile station in Ilorin, North-Central Nigeria. Environmental Research Communications. 2. 10.1088/2515-7620/ab636a.
- Potter, D. K., 2004. Magnetic susceptibility as a rapid petrophysical tool for a permeability prediction. EAGE 66 th Conference and Technical Exhibition, Paris, 7-10 June 2004.
- Prezzi, C. & Orgeira, M., Osters, H., Vasquez, C., 2005. Ground magnetic survey of a municipal solid waste landfill: Pilot study in Argentina. Environmental Geology. 47. 889-897. 10.1007/s00254-004-1198-6.
- Παπαζάχος Β., 1998. Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Εκδόσεις Ζήτη.
- Παπαζάχος Κ, Παπαζάχος, Β., 2013. Εισαγωγή στην Γεωφυσική, Εκδόσεις Ζήτη.

<https://www.agico.com/text/apps/enviro/enviro.php>, (accessed 26 December 2021)

7. Παράρτημα

Στους παρακάτω πίνακες απεικονίζονται οι μετρήσεις της μαγνητικής επιδεκτικότητας για τις περιοχές του κέντρου, της δυτικής και της ανατολικής Θεσσαλονίκης για τα κόσκινα των 500 μ m, 250 μ m και 63 μ m αντίστοιχα.

Sample	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq.Dep.%	Sample	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq.Dep.%
THC-1	14,6	352,7	350,3	0,68	THA-1	12,98	178	177,5	0,28
THC-2	11,08	205,9	200,7	2,53	THA-2	13,31	273,2	270,3	1,06
THC-3	11,91	298,1	296,7	0,47	THA-3	11,87	376,8	375	0,48
THC-4	14,4	659,5	652,7	1,03	THA-4	13,67	109,8	108,4	1,28
THC-5	13,08	440,7	438,6	0,48	THA-5	14,18	186,7	184,2	1,34
THC-6	12,93	364,3	361	0,91	THA-6	13,48	377,4	369,6	2,07
THC-7	12,27	210	207,7	1,1	THA-7	12,47	153,4	151,9	0,98
THC-8	12,4	271,1	267,2	1,44	THA-8	11,53	201,2	198,8	1,19
THC-9	13,62	209,9	209,1	0,38	THA-9	10,83	248,4	247	0,56
THC-10	12,75	352,9	351,3	0,45	THA-10	10,9	202,9	196,2	3,3
THC-11	9,96	328	318,4	2,93	THA-11	12,32	225,8	223,9	0,84
THC-12	13,32	286,1	283,8	0,8	THA-12	14,42	211,7	211,5	0,09
THC-13	11,39	309,4	303,6	1,87	THA-13	12,84	183,8	178,7	2,77
THC-14	12,46	282,6	277	1,98	THA-14	11,34	210,1	205,4	2,24
THC-15	10,43	410	398,7	2,76	THA-15	13,43	69,7	69,3	0,57

Πίνακας 5. Οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και του χ_{fd} για τις περιοχές του κέντρου και της ανατολικής Θεσσαλονίκης για το κόσκινο των 500 μ m.

Sample	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq.Dep. %
THD-1	14,03	257	255,8	0,47
THD-2	14,22	219,3	217,6	0,78
THD-3	14,43	260,3	258,7	0,61
THD-4	13,42	134	133,4	0,45
THD-5	14,82	930,4	917,4	1,4
THD-6	12,81	202	200,4	0,79
THD-7	14,71	410,7	409,3	0,34
THD-8	12,62	255,9	254,9	0,39
THD-9	11	300,5	293	2,5
THD-10	13,4	891,4	880,8	1,19
THD-11	13,93	74,4	71,8	3,49
THD-12	12,88	236,3	230,5	2,45
THD-13	13,95	409,8	406,4	0,83
THD-14	13,47	293,7	290,7	1,02
THD-15	13,95	504,3	500,6	0,73
THD-16	14,85	223,1	221,9	0,54
THD-17	10,82	308,8	307	0,58
THD-18	13,48	247,1	244,7	0,97
THD-19	11,65	123,6	122,5	0,89
THD-20	13,65	169,8	167	1,65
THD-21	14,66	464,5	461,7	0,6
THD-22	16,97	510,5	506,7	0,74
THD-23	17,71	334,3	332,8	0,45
THD-24	14,96	423,4	421,6	0,43

Πίνακας 6. Οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και του χ_{fd} για τις περιοχές της δυτικής Θεσσαλονίκης για το κόσκινο των 250 μ m.

Sample	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq.Dep.%	Sample	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq.Dep.%
THC1-1	16,76	511	505,5	1,08	THA1-1	15,47	236,9	234,2	1,14
THC2-1	13,28	231,9	228,6	1,42	THA2-1	14,75	294,7	293	0,58
THC3-1	13,15	357,3	348,7	2,41	THA3-1	14,67	404,1	401,4	0,67
THC4-1	15,92	803,9	792,5	1,42	THA4-1	15,26	137,3	133,7	2,62
THC5-1	15,31	628,5	622,2	1	THA5-1	15,08	197,8	196,7	0,56
THC6-1	14,94	549	546,3	0,49	THA6-1	15,39	495	493	0,4
THC7-1	13,57	210,2	208,8	0,67	THA7-1	14,4	179,1	177,6	0,84
THC8-1	14,31	275	269,1	2,15	THA8-1	13,63	198,3	195,4	1,46
THC9-1	15,16	235,6	233,7	0,81	THA9-1	13,58	305,8	304,6	0,39
THC10-1	14,59	400,5	397,3	0,8	THA10-1	13,74	230,2	222,3	3,43
THC11-1	11,93	344,6	336,9	2,23	THA11-1	14,7	310,4	305,9	1,45
THC12-1	15,72	415,5	411,3	1,01	THA12-1	14,63	195,4	192,3	1,59
THC13-1	13,8	415,8	410,7	1,23	THA13-1	14,7	207,4	201,2	2,99
THC14-1	13,94	320,3	313,9	2	THA14-1	13,62	233,6	227	2,83
THC15-1	12,19	438,9	430,4	1,94	THA15-1	15,04	93,3	91,5	1,93

Πίνακας 7. Οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και του χ_{fd} για τις περιοχές του κέντρου και της ανατολικής Θεσσαλονίκης για το κόσκινο των 250 μ m.

Samplpe	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq.Dep.%
THD1-1	15,12	291,5	285,4	2,09
THD2-1	16,16	431,1	426,2	1,14
THD3-1	16,65	312,9	308,3	1,47
THD4-1	14,1	251,1	247,6	1,39
THD5-1	16,8	1252,6	1229,8	1,82
THD6-1	15,32	235,6	230	2,38
THD7-1	16,18	548,5	543,8	0,86
THD8-1	14,53	351,7	344,2	2,13
THD9-1	14,27	315,5	311,1	1,39
THD10-1	15,33	926	918,7	0,79
THD11-1	17,04	112,5	110,8	1,51
THD12-1	14,88	307	303,7	1,07
THD13-1	16,27	424	418,9	1,2
THD14-1	14,8	379,5	374,5	1,32
THD15-1	16,25	800,6	795,2	0,67
THD16-1	16,12	312,5	308,6	1,25
THD17-1	11,97	324,1	322,5	0,49
THD18-1	15,45	293,2	292,2	0,34
THD19-1	14,1	156,1	151,8	2,75
THD20-1	15,27	187,2	186	0,64
THD21-1	16,27	369,4	366,8	0,7
THD22-1	15,65	479,9	479,2	0,15
THD23-1	16,42	478,6	475,4	0,67
THD24-1	16,75	637,4	635,2	0,35

Πίνακας 8. Οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και του x_{fd} για τις περιοχές της δυτικής Θεσσαλονίκης για το κόσκινο των 250 μ m.

Sample	Weight	LF Sus	HF Sus	Freq. Dep. %
THC4-2	14,29	690,1	679,6	1,52
THC5-2	14,27	650,2	645,3	0,75
THC15-2	12,39	365,7	358,6	1,94
THD21-2	13,64	400,2	396,7	0,87
THD22-2	14,15	564,6	560,9	0,66
THD23-2	14,41	305,7	301,3	1,44

Πίνακας 9. Οι τιμές μαγνητικής επιδεκτικότητας και του x_{fd} για τις δειγματοληπτικές περιοχές.

