

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Συσχέτιση της Οσμής Κομποστοποίησης με Βασικές
Φυσικοχημικές Παραμέτρους

Όνομα Επώνυμο

Αντρέας Βασιλείου

Επιβλέπων Καθηγητής
Αντώνης Ζορπάς

Μάιος, 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Συσχέτιση της Οσμής Κομποστοποίησης με Βασικές
Φυσικοχημικές Παραμέτρους**

Όνομα Επώνυμο
Αντρέας Βασιλείου

Επιβλέπων Καθηγητής
Αντώνης Ζορπάς

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών
Στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος
από τη Σχολή Διαχείρισης και Προστασίας Περιβάλλοντος του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος, 2018

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας Μάστερ, ήταν η μελέτη της διεργασίας της οικιακής κομποστοποίησης μέσω της συσχέτισης της οσμής (μελέτη των εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων, ΠΟΕ) με έξι συγκεκριμένες βασικές φυσικοχημικές παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία, οργανική ουσία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, δείκτης φυτοτοξικότητας).

Για τους σκοπούς της παρούσας πειραματικής διαδικασίας, δυο εμπορικοί κάδοι κομποστοποίησης όγκου 330 λίτρων, τοποθετηθήκαν στον περικλειστο χώρο του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κύπρου. Για την παρασκευή του κόμποστ χρησιμοποιήθηκαν υπολείμματα φρούτων και λαχανικών, ξερά φύλλα ακακίας, ευκαλύπτου και κλαδέματα γρασιδιού, ενώ σαν διογκωτικό υλικό για εξαερισμό της μάζας κομποστοποίησης, χρησιμοποιήθηκε πριονίδι και φρυγανιά. Στον κάδο 2 (K2), προστεθήκαν 5% περισσότερα κλαδέματα γρασιδιού από ότι στον κάδο 1 (K1), ώστε να προσεγγίζεται καλύτερα η κομποστοποίηση τύπου αυλής. Από τον κάθε κάδο, λαμβάνονταν κάθε εβδομάδα δείγματα για ανάλυση ΠΟΕ και φυσικοχημικών παραμέτρων για 2 περίπου μήνες.

Η ανάλυση των ΠΟΕ έγινε μέσω της μεθόδου SPME-GC/MS. Για τους σκοπούς της πειραματικής διαδικασίας, χρησιμοποιήθηκε επικαλυμμένη ίνα μικροεκχύλισης στερεής φάσης 75μm Carboxen/PDMS και οι προσροφημένες ΠΟΕ εκροφούνταν θερμικά σε συζευγμένο σύστημα Αέριας Χρωματογραφίας-Φασματομετρίας Μάζας. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας της κομποστοποίησης, παράγονται διαφορές ΠΟΕ, όπως τερπένια, οξυγονωμένες ενώσεις και συχνά, αναλόγως των συνθηκών, δύσοσμες θειούχες οργανικές ενώσεις. Η πιο έντονη ουσία που ανιχνεύτηκε κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ήταν το λιμονένιο, ενώ ιδιαίτερη εντύπωση προκάλεσε η άφθονη έκλυση τερπενίων.

Στα πλαίσια της διεργασίας της κομποστοποίησης στους κάδους K1 και K2, μελετήθηκαν παράλληλα και οι ακόλουθες φυσικοχημικές παράμετροι: η θερμοκρασία, η υγρασία, η οργανική ουσία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και ο δείκτης φυτοτοξικότητας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών των παραμέτρων, έδειξαν ότι η διεργασία της κομποστοποίησης ολοκληρώθηκε με επιτυχία και στους δυο κάδους.

Η μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA), εφαρμόστηκε τόσο στα δεδομένα των ΠΟΕ όσο σε αυτά των φυσικοχημικών παραμέτρων, προκειμένου να εντοπιστούν οι κύριες πηγές μεταβλητότητας σε κάθε σύνολο δεδομένων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης στα δεδομένα των ΠΟΕ, έδειξαν ότι η έκλυση των τερπενίων μπορεί να συσχετιστεί με την αποικοδόμηση της φυτικής οργανικής ύλης, ενώ η παραγωγή θειούχων ενώσεων με τις συνθήκες αερισμού και με τη μικροβιακή δραστηριότητα. Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης στα δεδομένα των φυσικοχημικών παραμέτρων έδειξαν ότι η υψηλότερη μικροβιακή δραστηριότητα παρατηρήθηκε κυρίως από την 1^η έως και την 3^η εβδομάδα. Επίσης, οι χημικές διεργασίες κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από το pH και τη θερμοκρασία. Κατά το πρώτο χρονικό μισό στάδιο της κομποστοποίησης (1^{ος} μήνας), η θερμοκρασία και το pH αυξάνει, καθώς η υγρασία διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα, ενώ κατά το δεύτερο μισό (2^{ος} μήνας), το pH και η θερμοκρασία μειώνονται και η υγρασία αυξάνει. Η διάρκεια της κομποστοποίησης συσχετίζεται θετικά με την οργανική ουσία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την εξωτερική θερμοκρασία και τον δείκτη φυτοτοξικότητας.

Η οικιακή κομποστοποίηση είναι μια γρήγορη και περιβαλλοντικά φιλική διεργασία, που προάγει τη διαλογή στην πηγή και οδηγεί στη μείωση της παραγωγής αυξημένου όγκου οικιακών απορριμμάτων.

Summary

The aim of this postgraduate Master's thesis was the study of the household composting process and the study through the correlation between the odor (VOCs emissions) through six physicochemical parameters (temperature, humidity, organic content, pH, conductivity and germination index).

For the experimental procedure, two composting containers with volume of 330 L were placed in a fenced area of the Chemistry Department at the University of Cyprus. In container 2 (K2), additional 5% lawn trimming were added compared to container 1 (K1), so that the composition would be more similar to the back yard composting process. Samples were obtained on a weekly basis from each container for the VOCs and physicochemical parameters analysis for two months.

The determination of the VOCs was carried out with the use of SPME-GC/MS. For the experimental procedure, microextraction fiber coated SPME 75 μ m Carboxen/PDMS was used. During the composting process, several VOCs are produced, mostly terpenes, oxygenated compounds and depending on the conditions, organic sulfur compounds. The compound produced the most during composting is limonene while the high terpen emissions was found to be quite interesting.

For the composting process in K1 and K2, the following physicochemical parameters were measured in parallel: temperature, humidity, organic content, pH, conductivity and phytotoxicity. The obtained results indicate that the composting procedure was successful in both containers.

The Principal Component Analysis PCA method was employed for the VOC obtained data and for the physicochemical parameters analysis so that the most prominent factors of variability would be traced in every data total. The analysis results for the VOCs data showed that the production of terpenes is associated to the decomposition of organic matter while the production of sulphur compounds can be related to the aerating conditions and the microbial activity. Respectively, the physicochemical parameters analysis results have shown that the highest microbial activity was observed from 1st to the 3rd week. Additionally, the chemical procedures during composting are mostly affected by the pH values and temperature. During the first half (1st month) of the

composting procedure, temperature and pH rise while the humidity is maintained while in the 2nd half (2nd month), pH and temperature are decreased while humidity increases. The composting duration is associated to the organic content, conductivity outer temperature and germination index.

The household composting process is a fast and environmentally friendly process, promoting the separation at the source and leads to the decrease of the household waste volume.

Ευχαριστίες

Μετά το πέρας της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Αντώνη Ζορπά για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτού του ερευνητικού έργου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την τριμελή επιτροπή για την αξιολόγηση της παρούσας διατριβής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω τον Δρ. Αγάπιο Αγαπίου, Λέκτορα του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κύπρου για τη συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε. Επίσης θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην ερευνητική ομάδα του Δρ. Αγάπιο Αγαπίου, τον Δρ. Μαρίνο Στυλιανού και τις μεταπτυχιακές φοιτήτριες Ελένη Παπαευσταθίου και Αντριάνα Κρόκου, όπως επίσης και το υποψήφιο διδάκτορα από την ερευνητική ομάδα πορωδών υλικών του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κύπρου Χαράλαμπο Παπατρύφωνος για την πολύτιμη βοήθεια του κατά το πειραματικό στάδιο και τις παραγωγικές μας συζητήσεις.

Τέλος τα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη πολύτιμη στήριξη για όλο αυτό το διάστημα.

Περιεχόμενα

1	Κεφάλαιο Πρώτο – Εισαγωγή.....	1
1.1	Γενικό Υπόβαθρο.....	1
1.2	Κομποστοποίηση.....	5
1.2.1	Ιστορική Αναδρομή.....	6
1.2.2	Παράγοντες – Παράμετροι που Επηρεάζουν την Κομποστοποίηση.....	8
1.2.3	Διαδικασία Κομποστοποίησης.....	13
1.2.4	Υλικά Κομποστοποίησης.....	16
1.3	Συστήματα Κομποστοποίησης.....	17
1.3.1	Οικιακή Κομποστοποίηση.....	19
1.4	Τελικές Χρήσεις Προϊόντων Κομποστοποίησης.....	21
1.4.1	Περιβαλλοντικά Οφέλη Χρήσης του Κόμποστ	24
1.4.2	Κοινωνικά Οφέλη Χρήσης του Κόμποστ.....	25
1.4.3	Οικονομικά Οφέλη Χρήσης του Κόμποστ.....	26
1.5	Νομοθετικά πλαίσια.....	27
1.6	Κομποστοποίηση στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	29
1.6.1	Κομποστοποίηση στην Ολλανδία.....	32
1.6.2	Κομποστοποίηση στη Γερμανία.....	34
1.6.3	Κομποστοποίηση στη Κύπρο.....	35
2	Κεφάλαιο Δεύτερο – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	36
2.1	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ).....	36
2.2	Επιπτώσεις των ΠΟΕ στο Περιβάλλον και στην Υγεία του Ανθρώπου.....	39
2.3	Παραγόμενες ΠΟΕ από Διαφόρους Τύπους Κομποστοποίησης.....	42
2.4	Μεθόδοι Ανάλυσης ΠΟΕ.....	44
2.4.1	Δυναμική Ολφακτομετρία.....	47
2.4.2	Ολφακτομετρία Πεδίου.....	47
2.5	Αέρια Χρωματογραφία.....	48
2.5.1	Συνδυασμένη Αέρια Χρωματογραφία με Ολφακτομετρικό Ανιχνευτή (GC-O).....	57
2.6	Αέρια Χρωματογραφία Συζευγμένη με Φασματοόμετρο Μάζας (GC-MS).....	58
2.6.1	Τεχνική Μικροεκχύλισης Στερεής Φάσης (Solid Phase Micro-Extraction, SPME)....	59
2.6.2	Θερμική Εκρόφηση.....	63
2.7	Ηλεκτρονική Μύτη (E-Nose).....	64
2.8	Σύγκριση των Μεθόδων Ανάλυσης.....	64

2.9	Χημειομετρία.....	66
3	Κεφάλαιο Τρίτο – Μεθοδολογία.....	70
3.1	Σκοπός – Στόχοι και Ερευνητικά ερωτήματα.....	70
3.2	Παρασκευή της Σωρού Κομποστοποίησης.....	70
3.3	Μελέτη φυσικοχημικών παραμέτρων.....	73
3.3.1	Παρακολούθηση θερμοκρασίας.....	74
3.3.2	Προσδιορισμός Υγρασίας.....	75
3.3.3	Προσδιορισμός της Οργανικής Ουσίας.....	75
3.3.4	Προσδιορισμός pH.....	76
3.3.5	Προσδιορισμός Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας.....	77
3.3.6	Προσδιορισμός Φυτοτοξικότητας σε Τριβλία.....	77
3.4	Προσδιορισμός των ΠΟΕ.....	79
3.5	Χημειομετρική Ανάλυση.....	81
4	Κεφάλαιο Τέταρτο – Αποτελέσματα.....	82
4.1	Διακύμανση Θερμοκρασιών.....	82
4.2	Διακύμανση Υγρασίας.....	84
4.3	Διακύμανση Οργανικής Ουσίας.....	85
4.4	Διακύμανση pH.....	86
4.5	Διακύμανση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας.....	88
4.6	Φυτοτοξικότητα σε Τριβλία.....	90
4.7	Ποιοτικά Αποτελέσματα Π.Ο.Ε.....	97
4.8	Ανάλυση Κυριών Συνιστωσών.....	129
5	Κεφάλαιο Πέμπτο – Συζήτηση – Συμπεράσματα – Εισηγήσεις.....	139
5.1	Συζήτηση.....	139
5.2	Συμπεράσματα.....	148
5.3	Εισηγήσεις.....	149
	Βιβλιογραφία.....	150

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενικό υπόβαθρο

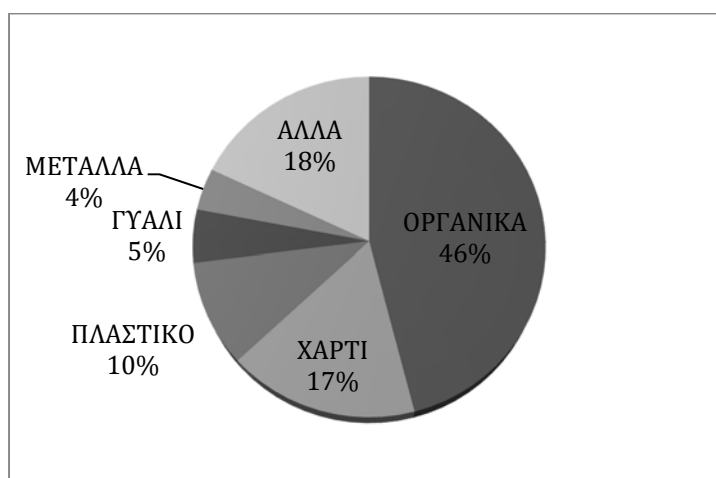
Τα απόβλητα είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας που άρχισαν να παράγονται από τότε που οι άνθρωποι άρχισαν να ζουν σε μικρότερες αλλά και μεγαλύτερες κοινότητες. Στις μέρες μας, το μέγεθος των πόλεων αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς και επομένως τα στερεά απόβλητα που παράγονται σε καθημερινή βάση έχουν πολύ μεγάλο όγκο και ως εκ τούτου η συλλογή και η διάθεση τους είναι αναγκαία για τη διατήρηση της καλής υγιεινής της κοινωνίας. Σε γενικές γραμμές, τα απόβλητα είναι ένας υποτιμητικός όρος που συνεπάγεται κάτι ανεπιθύμητο, άχρηστο και βρώμικο. Ο προσδιορισμός του όρου απόβλητο είναι περίπλοκος, καθώς οι έννοιες, οι απόψεις και η στάση απέναντι στα απόβλητα είναι συνήθως πολύ υποκειμενικές και συχνά υπερβολικά αντιφατικές (Atalia et al., 2015).

Η διαχείριση των απόβλητων έχει καταστεί ένας κρίσιμος τομέας πρακτικής και έρευνας, λόγω των αυξανόμενων ανησυχιών για την περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλούν αλλά και για την έλλειψη των διαθέσιμων πόρων. Οι πλείστοι επαγγελματίες διαχείρισης στερεών αποβλήτων αναγνωρίζουν ότι δεν υπάρχει ενιαία και απλή λύση στο πρόβλημα των στερεών αποβλήτων, αντ' αυτού θα πρέπει να χρησιμοποιείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει τα στοιχειά πολλαπλών τεχνικών (Atalia et al., 2015).

Τα βιοδιασπώμενα απόβλητα εξ ορισμού στην Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/EK) περιλαμβάνουν τροφικά απόβλητα από νοικοκυριά, εστιατόρια, καφετερίες, υπεραγορές, απόβλητα κήπων και πάρκων καθώς και οργανικά

κατάλοιπα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων (European Compost Network, 2016a).

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης παράγουν κάθε χρόνο περίπου 118 έως 138 εκατομμύρια τόνων βιοδιασπώμενων απόβλητων. Τα απόβλητα αυτά αποτελούν έως και το 50 % της σύστασης των αστικών στερεών αποβλήτων (World Bank, 2012) **(Σχήμα 1.1.1)**. Επί του παρόντος, περίπου το 75% αυτών των υλικών απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η απόρριψη στους χώρους υγειονομικής ταφής οδηγεί σε εκτροπή του άνθρακα και των θρεπτικών συστατικών που υπάρχουν στα βιοδιασπώμενα απόβλητα, οδηγώντας παράλληλα στην απομάκρυνση τους από τα οικοσυστήματα, καθιστώντας τα ακατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση. Επιπλέον, η ανεξέλεγκτη αποσύνθεση των οργανικών υλικών στους χώρους υγειονομικής ταφής οδηγεί στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, όπως του μεθανίου (European Compost Network, 2016).



Γράφημα 1.1.1: Σύσταση Στερεών Αστικών Αποβλήτων σε παγκόσμια βάση (World Bank, 2012).

Τα τροφικά απόβλητα είναι οργανικά απόβλητα που απορρίπτονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανόμενων των μονάδων επεξεργασίας τροφίμων, οικιακών/ εμπορικών κουζινών, καφετεριών και εστιατόριων. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), σχεδόν 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι τροφίμων, συμπεριλαμβανόμενων των φρέσκων λαχανικών, των φρούτων, του κρέατος, των προϊόντων αρτοποιίας και των

γαλακτοκομικών προϊόντων χάνονται κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων (Chen et al., 2017).

Στον τομέα των τροφίμων, τα απόβλητα αποτελούν σημαντικό περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό ζήτημα. Μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση απορρίπτονται 90 εκατομμύρια τόνοι τροφίμων ετησίως που αντιστοιχεί σε 180 κιλά ανά άτομο. Αυτό οφείλεται κυρίως στους κλιματολογικούς και βιολογικούς παράγοντες πέραν του ανθρωπίνου παράγοντα και κατά δεύτερο λόγο στη συμπεριφορά των συμμετεχόντων στη τροφική αλυσίδα (Cicatiello et al., 2016).

➤ Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τροφικών αποβλήτων

Μια από τις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τροφικών αποβλήτων σχετίζεται με τη διάθεση τους στους χώρους υγειονομικής ταφής. Όταν τα τροφικά απόβλητα τοποθετούνται στους χώρους υγειονομικής ταφής, παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα ως μέρος της φυσικής διεργασίας της αποσύνθεσης. Το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα είναι αέρια του θερμοκηπίου που συμβάλουν στην αλλαγή του κλίματος, με το μεθάνιο να είναι το πιο ισχυρό από τα δυο, παγιδεύοντας 21 φορές περισσότερη θερμότητα από το διοξείδιο του άνθρακα (Adhikari et al., 2006). Εκτιμάται ότι ο τομέας των αποβλήτων αντιπροσωπεύει περίπου το 3% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Papargyropoulou et al., 2014).

Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των τροφικών αποβλήτων περιλαμβάνουν την εξάντληση των φυσικών πόρων (όπως των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους, του νερού και της ενέργειας), τη διακοπή των βιογενών κύκλων του αζώτου και του φωσφόρου που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ως λιπάσματα (Rockström et al., 2009) και το δυναμικό ρύπανσης του περιβάλλοντος σε ολόκληρη την τροφική αλυσίδα, ιδιαίτερα κατά την απόθεση των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής (Lundie and Peters, 2005).

➤ Οικονομικές επιπτώσεις

Τα τροφικά απόβλητα έχουν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Το οικονομικό κόστος της σπατάλης των τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο για το 2007

εκτιμήθηκε στα 750 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ τα τρόφιμα και τα ποτά που σπαταλήθηκαν από τα νοικοκυριά του Ηνωμένου Βασιλείου και που θα μπορούσαν να καταναλωθούν είχαν λιανική αξία 12 δισεκατομμυρίων λιρών (Quested et al. 2011). Αναφέρεται επίσης, ότι τα τροφικά απόβλητα από τα εστιατόρια του Ηνωμένου Βασιλείου κοστίζουν περίπου το 2-3 % του κύκλου εργασιών τους.

Οι (Papargyropoulou et al., 2014) τονίζουν την οικονομική αξία των τροφίμων που παράγονται σε ολόκληρη τη διαδικασία της παράγωγης των τροφίμων. Υποδεικνύουν ότι οι απώλειες των τροφίμων που μπορούν να αποφευχθούν έχουν άμεσο και αρνητικό αντίκτυπο στο εισόδημα τόσο των αγροτών όσο και των καταναλωτών. Για τους μικροκαλλιεργητές που ζουν στα περιθώρια της επισιτιστικής ανασφάλειας, η μείωση των απωλειών τροφίμων μπορεί να έχει άμεσο και σημαντικό αντίκτυπο στη ζωή τους.

➤ Κοινωνικές επιπτώσεις

Εκτός από τις περιβαλλοντικές και τις οικονομικές επιπτώσεις, τα τροφικά απόβλητα έχουν επίσης και κοινωνικές επιπτώσεις (Salhofer et al., 2008). Οι επιπτώσεις αυτές επικεντρώνονται γύρω από την ηθική διάσταση της σπατάλης των τροφίμων, ιδίως σε σχέση με την ανισότητα μεταξύ της πρακτικής της σπατάλης των τροφίμων και της επισιτιστικής φτώχειας (Wrigley, 2002). Καθώς το ζήτημα της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας καθίσταται όλο και πιο σημαντικό στις τοπικές και τις παγκόσμιες ατζέντες, η μείωση των απωλειών των τροφίμων και των αποβλήτων σε ολόκληρη τη τροφική αλυσίδα, θεωρούνται ως ένα πρώτο βήμα προς την επίτευξη επισιτιστικής ασφάλειας (Papargyropoulou et al., 2014).

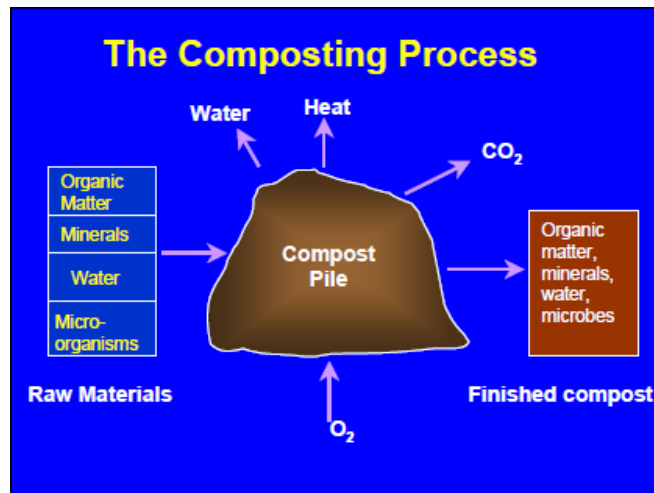
Τα τροφικά απόβλητα αποτελούν το κύριο κλάσμα (45%) του συνόλου των Αστικών Στέρεων Αποβλήτων (Municipal Solid Waste, MSW) στην Ευρώπη. Αυτό το ποσοστό υπερβαίνει το 55% στις αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ μέχρι και πριν από λίγα χρόνια ο τελικός προορισμός των τροφικών αποβλήτων ήταν η απόθεση τους σε χώρους υγειονομικής ταφής ή η αποτέφρωση. Αν και η κατάσταση αυτή παραμένει σε πολλές χώρες στο κόσμο, άλλες χώρες έχουν

θεσπίζει πιο βιώσιμες μεθόδους διαχείρισης των αποβλήτων, θεσπίζοντας νέες νομοθεσίες που αφορούν την τελική διάθεση των στέρεων αποβλήτων που συνεπάγεται και την αξιοποίηση των τροφικών αποβλήτων (Cerdea et al., 2017).

Η αξιοποίηση των τροφικών αποβλήτων γίνεται συνήθως με βιολογικές διεργασίες όπως η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Και οι δυο διεργασίες στηρίζονται στην βιολογική αποδόμηση της οργανικής ύλης κάτω από αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Το κόμποστ – η τροποποίηση της οργανικής ύλης είναι το τελικό προϊόν των διεργασιών της κομποστοποίησης. Το βιοαέριο το οποίο περιέχει μίγμα αερίων κυρίως μεθανίου (CH_4) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και το μη σταθεροποιημένο υλικό είναι τα τελικά προϊόντα των διεργασιών της αναερόβιας χώνευσης. Τόσο η κομποστοποίηση όσο και η αναερόβια χώνευση, είναι μέθοδοι αποτελεσματικές και περιβαλλοντικά φιλικές παρέχοντας εναλλακτικές λύσεις στη διαχείριση των τροφικών αποβλήτων με τη χρήση τους να είναι ευρέως διαδεδομένη σε πολλές χώρες στο κόσμο (Cerdea et al., 2017).

1.2 Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι μια αυτόθερμη βιολογική αερόβια διεργασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών κάτω υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού (Ryckeboer et al., 2003; United States Department of Agriculture, 2010). Είναι η διεργασία εκείνη κατά την οποία οι διάφοροι αερόβιοι μικροοργανισμοί (μύκητες, βακτήρια, ακτινομύκητες), αποσυνθέτουν το ακατέργαστο οργανικό υλικό για να αποκτήσουν ενεργεία και πρώτες ύλες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους (**Εικόνα 1.2.1**). Τα σταθερά υποπροϊόντα της αποσύνθεσης αυτής, η βιομάζα τόσο των νεκρών όσο και των ζωντανών μικροοργανισμών καθώς και τα μη αποδομήσιμα μέρη του πρωτογενούς υλικού, αποτελούν το τελικό προϊόν που ονομάζεται κόμποστ (United States Department of Agriculture, 2010).



Εικόνα 1.2.1: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας κομποστοποίησης (Cooperband, 2002).

Η απώλεια της γονιμότητας των εδαφών, οι υψηλές τιμές των χημικών λιπασμάτων, η μείωση της οργανικής ουσίας των εδαφών και η ανεπάρκεια θρέψης στη φυτική παράγωγη, υποδηλώνουν την ανάγκη για εναλλακτική λίπανση. Το υψηλό ποσοστό των οικιακών αποβλήτων, τόσο στις αναπτυγμένες όσο και τις αναπτυσσόμενες χώρες, αποτελούν πραγματικό πρόβλημα. Η κομποστοποίηση επιτρέπει την ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων και την επιστροφή τους στο έδαφος ως λίπασμα, παρέχοντας παράλληλα μια εναλλακτική λύση στη διαχείριση των αποβλήτων (Füleky and Benedek, 2010).

1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία της δημιουργίας των αστικών απόβλητων καθώς και η διαχειριστή τους αρχίζει με τον ανθρώπινο πολιτισμό και την αστικοποίηση. Κατά τη Νεολιθική Εποχή για πρώτη φορά στην ιστορία οι άνθρωποι άρχισαν να ζουν σε αστικούς οικισμούς, αλλάζοντας το τρόπο ζωής τους και τις ασχολίες τους, μετατράπηκαν δηλαδή από κυνηγοί και συλλέκτες σε γεωργούς και κτηνοτρόφους. Από την ίδρυση αυτών των οικισμών χρησιμοποιήθηκαν ευρέως οι κάδοι απορριμμάτων. Οι πρώτοι κάδοι απορριμμάτων (λάκκοι) ήταν κατασκευασμένη από πέτρα (6000 χρόνια πριν) και κτισμένοι έξω από τα σπίτια των σουμεριακών πόλεων. Σε αυτούς τους λάκκους, οι αρχαίοι Σουμέριοι

αποθήκευαν τα οργανικά αστικά απόβλητα με σκοπό τη χρήση τους στη γεωργία (Diaz et al., 2007).

Οι πρώτοι πολιτισμοί στη Νοτιά Αμερική, την Ινδία τη Κινά και την Ιαπωνία εξασκούσαν εντατικά τη γεωργία και χρησιμοποιούσαν όπως είναι γνωστό γεωργικά, ζωικά και ανθρώπινα κατάλοιπα ως λίπανση για τις καλλιέργειες τους. Πολλά από αυτά τα υπολείμματα, είτε τοποθετούνταν σε κοιλάματα είτε σε σωρούς και αφήνονταν να σαπίσουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Μεγάλες κοιλότητες για την εναπόθεση των απόβλητων βρεθήκαν και στη Κνωσό της Κρήτης, δίπλα από τα τείχη της πόλης (Μινωικός Πολιτισμός 1800-1200 π.Χ) (Diaz et al., 2007).

Η αυτοκρατορική Ρώμη στο απόγειο της δύναμης της είχε περίπου ένα εκατομμύριο πληθυσμό. Αναπτύχθηκαν προηγμένα συστήματα διαχείρισης αστικών απόβλητων που οργανώνονταν και στηρίζονταν από τη κρατική διοίκηση. Προκειμένου να διατηρηθούν οι συνθήκες υγιεινής στη πόλη, τα αστικά απόβλητα συλλέγονταν περιοδικά από μόνιμο προσωπικό, απορρίπτονταν έξω από τη πόλη και τελικά εφαρμόζονταν σε αγροτικές εκτάσεις. Παρομοίως, στη προ - Αναγεννησιακή Φλωρεντία, γεωργικά κάρα μετέφεραν το πρωί τρόφιμα μέσα στη πόλη και το απόγευμα αναχωρούσαν από τη πόλη με φόρτια σκουπιδιών, τα οποία εφάρμοζαν στα αγροκτήματα τους (Diaz et al., 2007).

Ωστόσο, μια από τις πιο λεπτομερείς περιγραφές της κομποστοποίησης διεξήχθη από του Ναΐτες Ιππότες το 13^ο αιώνα μ.Χ. Οι Ναΐτες Ιππότες ήταν στρατιωτική τάξη κατά τη διάρκεια των Σταυροφοριών. Όταν οι μουσουλμάνοι κατέκτησαν τους Αγίους Τόπους, οι Ναΐτες Ιππότες εγκαταστάθηκαν στην Ισπανία και στη Νοτιά Γαλλία όπου ασχολήθηκαν εντατικά με τη γεωργία. Οι συμφωνίες για την ενοικίαση της γης καθώς και οι διάφοροι τρόποι ανάκτησης των εξαντλημένων εδαφών γραφτήκαν σε χειρόγραφα. Ορισμένα από αυτά τα χειρόγραφα υπάρχουν ακόμα στην Εθνική Βιβλιοθήκη της Μαδρίτης και στο Ιστορικό Εθνικό Αρχείο της Μαδρίτης. Αυτά τα χειρόγραφα που ανάγονται στο 13^ο αιώνα μ.Χ., αναφέρουν τις τεχνικές που χρησιμοποιούσαν οι Ναΐτες για να

αποκαταστήσουν τη γονιμότητα άγονων και εξαντλημένων εδαφών. Η περιγραφή του συστήματος κομποστοποίησης ξεκινούσε με την προετοιμασία των διαφόρων πρώτων υλών, το μέγεθος και το μήκος των υλικών κομποστοποίησης, ενώ προσδιορίζονταν και οι αναλογίες μεταξύ του ξύλου και ζωικής κοπριάς, της υγρασίας άλλα και ο χρόνος που απαιτείτο για την ωρίμανση του κομπόστ (Diaz et al., 2007).

Κομποστοποίηση κατά τον 20^ο και 21^ο αιώνα

- 1843 → ο George Bommer προτείνει την μέθοδο «Bommer Method of Making Manure» για την διαχείριση της κοπριάς
- 1888 → επίσημη αναφορά για την κομποστοποίηση στην Αμερικάνικη Ήπειρο από το περιοδικό Bulletin No 61 με τίτλο «XI. Compost – Formulas, Analyses and Value»
- 1920 → εμφάνιση μεθόδων κομποστοποίησης στην Ευρώπη - Μέθοδος Baccari. Στη διαδικασία αυτή, το υλικό προς κομποστοποίηση τοποθετήτω σε κλειστό κελί για να ελέγξει τη διαφυγή των οσμών που σχετίζονται με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης,
- 1933→ στην Ινδία ο Sir Albert Howard ανέπτυξε την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης των απορριμμάτων και υγρών αποβλήτων

1975 → το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α αναπτύσσει την μέθοδο αεριζόμενων στατικών σωρών για την κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος απορριμμάτων

1976 → κομποστοποίηση βιοστερεών γνωστή και ως «Rutgers Strategy»

Σήμερα → ανάπτυξη και εφαρμογή πληθώρας μεθόδων κομποστοποίησης (Diaz et al., 2007).

1.2.2 Παράγοντες - Παραμέτροι που Επηρεάζουν τη Κομποστοποίηση

Με το συνδυασμό των κατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών και με μια επαρκή περίοδο κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν την επιζήμια οργανική υλη σε ένα σταθεροποιημένο προϊόν. Η διαχείριση της διαδικασίας μπορεί να βελτιωθεί για ένα αριθμό κριτηρίων, συμπεριλαμβανομένου του ρυθμού αποσύνθεσης, του ελέγχου των παθογόνων

και τη διαχείριση των οσμών. Σύμφωνα με τους Kumar (2010) και Cerda et al. (2017) οι πιο σημαντικοί παράγοντες – παράμετροι που επηρεάζουν την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων είναι:

- (1) Οι μικροοργανισμοί,
- (2) Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N),
- (3) Το μέγεθος των τεμαχισμένων υλικών,
- (4) Η υγρασία,
- (5) Ο αερισμός,
- (6) Η θερμοκρασία,
- (7) Το pH

(1) Οι μικροοργανισμοί

Οι μικροοργανισμοί επιτυγχάνουν την αποσύνθεση ή την οξείδωση των οργανικών ενώσεων σε απλά σταθεροποιημένα τελικά προϊόντα διάμεσου της παραγόμενης θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης καταναλώνεται οξυγόνο ενώ απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα, νερό και συχνά αμμωνία. Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη σύνθεση των κύτταρων των μικροοργανισμών. Η παραγόμενη θερμότητα επαρκεί για την αύξηση της θερμότητας στο θερμοφιλό εύρος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι διάφορα σημεία της μάζας κομποστοποίησης, μπορούν την ίδια στιγμή να βρίσκονται είτε σε μεσοφιλικές είτε θερμοφιλικές θερμοκρασίες και παράλληλα η διάρκεια αυτών των φάσεων να είναι επίσης διαφορετική (Atalia et al., 2015).

Τα οργανικά απόβλητα περιέχουν μεγάλο αριθμό πολλών διαφορετικών τύπων βακτηρίων, μυκήτων, μούχλας και άλλων ζωντανών οργανισμών. Η κομποστοποίηση υψηλής θερμοκρασίας δείχνει να αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη πηγή για την απομόνωση νέων θερμοφίλων οργανισμών, καθώς και θερμικά σταθερών ενζύμων βιομηχανικής αξίας (Oshimaa and Moriyab, 2008). Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την βιολογική αποικοδόμηση στην κομποστοποίηση είναι τα βακτήρια, οι ακτινομύκητες και οι μύκητες των μεσόφιλων και θερμοφίλων ομάδων.

(2) Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N)

Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N) των οργανικών υλικών είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας της κομποστοποίησης. Η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι μικροβιολογική και επηρεάζεται από τις αναλογίες των ανθρακούχων και των αζωτούχων υλικών που υπάρχουν διαθέσιμα στα απόβλητα. Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται τον άνθρακα για την ανάπτυξη τους και το άζωτο για τη σύνθεση πρωτεϊνών. Αν και μια αναλογία (C/N) γύρω στο 30 είναι επιθυμητή, για αποτελεσματικότερη κομποστοποίηση είναι αποδεκτές και αναλογίες από 26–35 (Kumar, 2010).

Μια χαμηλή αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) κάτω από 20 προάγει τη δημιουργία αμμωνίας, που κάτω από ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να οξειδωθεί περαιτέρω σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά (Kumar, 2010). Ο περιορισμός του διαθέσιμου αζώτου είναι ανεπιθύμητος επειδή προκαλεί τη μείωση του ποσοστού κατανάλωσης του άνθρακα (Diaz et al., 2007). Άλλα θρεπτικά στοιχεία όπως ο φώσφορος, το κάλιο, το θείο και τα ιχνοστοιχεία είναι επίσης απαραίτητα για τη μικροβιακή ανάπτυξη (Kumar, 2010).

(3) Το μέγεθος των τεμαχισμένων υλικών

Το μέγεθος των τεμαχισμένων υλικών επηρεάζει τη κίνηση του οξυγόνου στη σωρό καθώς και τη μικροβιακή και ενζυμική δραστηριότητα στο υπόστρωμα. Τα μικρότερα σωματίδια ενός οργανικού υλικού αυξάνουν την επιφάνεια που είναι διαθέσιμη για τη μικροβιακή προσβολή. Ωστόσο πολύ μικρά σωματίδια έρχονται σε μεγάλη επαφή μεταξύ τους, εμποδίζοντας την κίνηση του αέρα στη σωρό κομποστοποίησης και την κίνηση του διοξειδίου του άνθρακα έξω από τη σωρό, καθώς οδηγούν και στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Τα μεγάλα σε μέγεθος σωματίδια, μειώνουν το εμβαδό της επιφάνειας για την μικροβιακή προσβολή με αποτέλεσμα να επιβραδυνθεί ή να σταματήσει εντελώς η διαδικασία της κομποστοποίησης. Τα ογκώδη οργανικά υλικά πρέπει να τεμαχιστούν ή να αλεστούν για να μειωθεί το μέγεθος των σωματιδίων σε εύρος 1–5 εκατοστών (Atalia et al., 2015). Το πιο επιθυμητό μέγεθος σωματιδίων για τη κομποστοποίηση είναι μικρότερο από 50 mm, αν και μεγαλύτερα μεγέθη μπορούν να κομποστοποιηθούν ικανοποιητικά (Kumar, 2010).

(4) **Η υγρασία**

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ορίζεται αρχικά από τις συνθήκες τροφοδότησης και μπορεί να διατηρηθεί με τη χειροκίνητη προσθήκη νερού ή με τη χρησιμοποίηση ενός ανοικτού βρόγχου προσθήκης νερού (Kumar, 2010). Η υγρασία στα απόβλητα είναι μια από τις παραμέτρους που επιλέγονται για τη παρακολούθηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Η υγρασία εξασφαλίζει τη μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στους μικροοργανισμούς και θα πρέπει να κυμαίνεται από 25% έως 70%. Η μικροβιακή δραστηριότητα αναστέλλεται κάτω από υγρασία 25%, ενώ ο αερισμός της μάζας κομποστοποίησης μπορεί να μειωθεί για συγκέντρωση υγρασίας πάνω από 70% (Kumar, 2010). Η περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να επιταχύνει την εκκίνηση της διαδικασίας και να βελτιώσει την υγρασία και τη δομή των αρχικών υλικών κομποστοποίησης, ενώ η περίσσεια υγρασίας μπορεί να εμποδίσει την κομποστοποίηση (Lu et al., 2009 Kumar, 2010).

(5) **Ο αερισμός**

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν περισσότερο τη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι η παροχή οξυγόνου στη μάζα της κομποστοποίησης. Ο αέρας που περικλείεται στα διάκενα της μάζας αυτής κατά την διάρκεια της μικροβιακής οξειδωτικής δραστηριότητας ποικίλει σε σύνθεση. Η περιεκτικότητα του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται σταδιακά, ενώ το επίπεδο του οξυγόνου μειώνεται. Η μέση περιεκτικότητα σε CO₂ και O₂ εντός της μάζας είναι περίπου 20%. Η συγκέντρωση του οξυγόνου κυμαίνεται από 15 έως 20% και το διοξείδιο του άνθρακα από 0,5 έως 5% (Diaz, 2007).

Όταν το επίπεδο οξυγόνου είναι κάτω από αυτά τα επίπεδα, οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί αρχίζουν να υπερβαίνουν τους αερόβιους με αποτέλεσμα να λαμβάνουν χωρά ζυμώσεις και η αναερόβια αναπνοή. Επομένως, είναι σημαντικό οι μικροοργανισμοί να έχουν σταθερή παροχή οξυγόνου για να διατηρήσουν αμετάβλητες τις μεταβολικές τους δραστηριότητες. Υπό κανονικές συνθήκες, το οξυγόνο διατίθεται στη μάζα δια μέσου του εξαερισμού. Ο

εξαερισμός εκτός από τη παροχή οξυγόνου στη μάζα, εξυπηρετεί και άλλες λειτουργίες όπως της ρύθμισης της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

(6) Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να παρακολουθούνται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (Huang et al., 2006; Kumar, 2010). Η μικροβιακή δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης παράγει θερμότητα, η οποία ποικίλει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης, καθώς αυξομειώνεται ο τύπος των μικροοργανισμών και το μέγεθος του πληθυσμού τους. Η μέτρηση των θερμοκρασιών παρέχει μια γρήγορη ένδειξη της προόδου της κομποστοποίησης (Environment and Climate Change Canada, 2013). Θερμοκρασίες μεταξύ 45°C–55°C, διασφαλίζουν τη καλύτερη αποικοδόμηση της μάζας κομποστοποίησης, ενώ θερμοκρασία πάνω από 55°C εξασφαλίζει τη καταστροφή των παθογόνων οργανισμών (Huang et al., 2006 Kumar, 2010).

(7) Το pH του κομπόστ

Η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (pH) της μάζας του υλικού κομποστοποίησης επηρεάζει τη διαδικασία της κομποστοποίησης, επειδή οι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονται ικανοποιητικά σε μεσαίες και σχετικά υψηλές τιμές pH. Οι ακραίες τιμές του pH (όξινο/αλκαλικό) μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη διαδικασία αποσύνθεσης. Όταν σε απόβλητα με αρχικό pH 5,5 ή λιγότερο προστεθεί ανθρακικό ασβέστιο κατά τη διάρκεια των αρχικών σταδίων αποσύνθεσης, τότε το pH της μάζας θα αυξηθεί (Kumar, 2010). Στη πράξη, το pH δεν χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διαδικασίας κομποστοποίησης. Ωστόσο, το pH μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της παρουσίας ασυνήθιστων ουσιών που παρεκκλίνουν από τη φυσιολογική λειτουργία. Διαφορά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, έδειξαν ότι τιμές pH μεταξύ 7 και 8 μπορούν να επιταχύνουν την αποικοδόμηση των υπολειμμάτων (Kumar, 2010). Ο **Πίνακας 1.2.2.1** απεικονίζει τις βέλτιστες τιμές των κυριοτέρων παραγόντων - παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

Πίνακας 1.2.2.1: Απεικόνιση βέλτιστων τιμών των κυριότερων παραγόντων - παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

Παράγοντας - Παράμετρος	Βέλτιστες τιμές
Λόγος C/N	26 – 35
Μέγεθος τεμαχισμένων υλικών	> 50mm
Υγρασία	25% – 70%
Αερισμός (οξυγόνο)	15% – 20%
Θερμοκρασία	45°C – 55°C
pH	7 – 8

1.2.3 Διαδικασία Κομποστοποίησης

Η διαδικασία της κομποστοποίησης διεξάγεται από μια πληθώρα πληθυσμών αερόβιων μικροοργανισμών που διασπούν την οργανική υλη για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους. Η δραστηριότητα των μικροοργανισμών αυτών ενθαρρύνεται μέσω της διαχείρισης του λόγου άνθρακα προς άζωτο (C:N), της παροχής οξυγόνου, της περιεχόμενης υγρασίας, της θερμοκρασίας και του pH της σωρού κομποστοποίησης. Η ορθή διαχείριση της διαδικασίας κομποστοποίησης αυξάνει τον ρυθμό της φυσικής αποσύνθεσης και η επαρκής παραγόμενη θερμότητα συμβάλει στη καταστροφή των σπορών των ζιζανίων, των παθογόνων οργανισμών καθώς και των προνυμφών των εντομών (United States Department of Agriculture, 2010).

Η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να χωριστεί σε δυο κύριες φάσεις:

(1) **Ενεργή φάση**

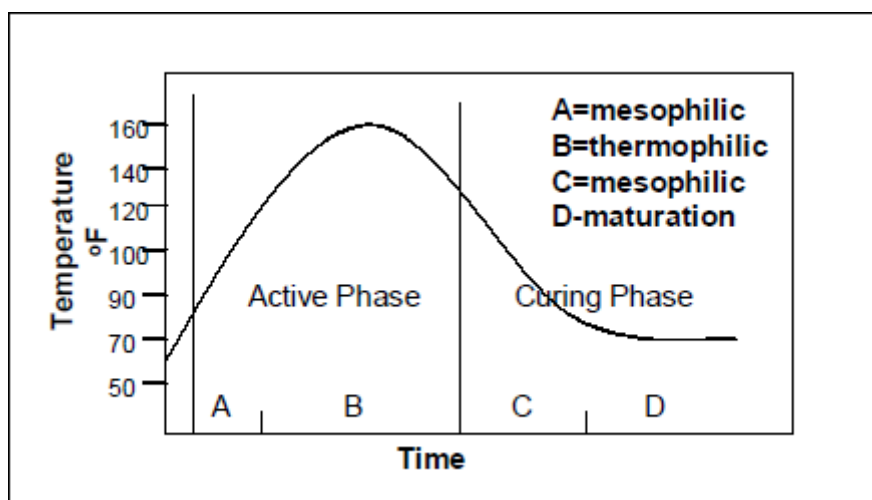
Η ενεργή φάση, είναι περίοδος έντονης μικροβιακής δραστηριότητας κατά την οποία τα βιοδιασπώμενα υλικά αποσυντίθενται με ευκολία, όπως και μερικά ανθεκτικά υλικά στην αποσύνθεση, όπως για παράδειγμα η κυτταρίνη.

(2) **Φάση ωρίμανσης**

Η φάση της ωρίμανσης, ακολουθεί αυτή της ενεργής κομποστοποίησης και χαρακτηρίζεται από χαμηλό επίπεδο μικροβιακής δραστηριότητας και την περαιτέρω αποσύνθεση των προϊόντων της ενεργής φάσης της κομποστοποίησης. Όταν η φάση της ωρίμανσης φτάσει στο τελικό στάδιο, το κομπόστ έχει σταθεροποιηθεί.

Η σωρός της κομποστοποίησης περνά μέσα από ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της περιόδου της ενεργής φάσης. Καθώς η θερμοκρασία μεταβάλλεται, οι συνθήκες γίνονται ακατάλληλες για ορισμένους μικροοργανισμούς, ενώ την ίδια στιγμή γίνονται ιδανικές για άλλους. Η ενεργή φάση περιλαμβάνει τρεις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Οι διακυμάνσεις αυτές καθορίζονται από τους τύπους των μικροοργανισμών που κυριαρχούν στη σωρό κατά τη διάρκεια αυτών των θερμοκρασιών και κάθε διακύμανση φέρει και την αντίστοιχη ονομασία: ψυχρόφιλη, μεσόφιλη και θερμόφιλη. Οι ψυχρόφιλες θερμοκρασίες είναι εκείνες που είναι κάτω από 10 °C, οι μεσόφιλες μεταξύ 10 °C–40 °C και οι θερμόφιλες πάνω από 40 °C.

Το αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης χαρακτηρίζεται, είτε από ψυχρόφιλες είτε μεσόφιλες θερμοκρασίες, ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τις θερμοκρασίες της σορού κομποστοποίησης. Κατά τα αρχικά στάδια της διαδικασίας, είναι χαρακτηριστική μια περίοδος υστέρησης πριν η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνεται γρήγορα. Η περίοδος υστέρησης είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ανάπτυξη του μικροβιακού πληθυσμού (**Γράφημα 1.2.2.1**).



Γράφημα 1.2.2.1: Η μεταβολή της θερμοκρασίας στη σωρό κομποστοποίησης (Cooperband, 2002).

Καθώς ο μικροβιακός πληθυσμός προκαλεί τη διάσπαση των πιο εύκολα σε αποδόμηση υλικών και ο πληθυσμός τους αυξάνεται, η παραγόμενη θερμότητα από την μικροβιακή δραστηριότητα παγιδεύεται μέσα στο υλικό κομποστοποίησης με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της σωρού. Η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται σταθερά μέσω ψυχρόφιλων και μεσόφιλων θερμοκρασιών, ενώ παράλληλα ο μικροβιακός πληθυσμός αυξάνεται και διαφοροποιείται. Ανάλογα με τη λειτουργία, η σωρός κομποστοποίησης χρειάζεται τυπικά 2 – 3 ημέρες για να ξεπεράσει τις μεσόφιλες θερμοκρασίες και να φτάσει το θερμόφιλο στάδιο της κομποστοποίησης.

Καθώς οι θερμοκρασίες της σωρού αυξάνονται στο θερμόφιλο εύρος, η σωρός αποικείται από μια πληθώρα μικροοργανισμών που λειτουργούν με μέγιστη αποτελεσματικότητα. Η έντονη μικροβιακή δραστηριότητα διατηρεί τη θερμοκρασία σε ψηλά επίπεδα για την καταστροφή των παθογόνων, των προνυμφών των εντόμων και των σπορών των ζιζανίων. Η ποικιλομορφία του μικροβιακού πληθυσμού, επιτρέπει επίσης την αποσύνθεση μιας μεγάλης κλίμακας υλικών, από τα πιο απλά - εύκολα αποδομήσιμα υλικά έως τα πιο πολύπλοκα - ανθεκτικά στην αποσύνθεση, όπως η κυτταρίνη.

Οι θερμοκρασίες συνεχίζουν να ανεβαίνουν και κορυφώνονται στους 55°C–70°C. Μόλις οι θερμοκρασίες φτάσουν σε αυτό το επίπεδο, η μικροβιακή δραστηριότητα αρχίζει να μειώνεται σε απόκριση της εξάντλησης των εύκολα αποδομήσιμων υλικών και του οξυγόνου ή λόγω της υπερβολικά υψηλής θερμοκρασίας που είναι επιζήμια για τη λειτουργία τους.

Καθώς η μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται, προκαλείται απώλεια θερμότητας από τη σωρό με αποτέλεσμα η σωρός να αρχίσει να ψύχεται. Η σωρός κομποστοποίησης παραμένει στο θερμόφιλο εύρος από 10 έως 60 ημέρες. Μόλις η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 40 °C, ξεκινά η φάση της ωρίμανσης.

Η φάση της ωρίμανσης χαρακτηρίζεται από το μικρότερο επίπεδο μικροβιακής δραστηριότητας και είναι υπεύθυνη για τη σταθεροποίηση των προϊόντων που προκύπτουν από την ενεργή φάση της κομποστοποίησης. Η σταθεροποίηση αυτή περιλαμβάνει την επιπλέον αποσύνθεση των οργανικών οξέων και ανθεκτικών ενώσεων στην αποσύνθεση, το σχηματισμό χουμικών οξέων και του νιτρικού αζώτου. Η σωστή διαχείριση της υγρασίας και του οξυγόνου είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια της περιόδου ωρίμανσης για τη διατήρηση της μικροβιακής δραστηριότητας.

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της φάσης της ωρίμανσης είναι σχετικά αργές και ως εκ τούτου απαιτούν επαρκή χρόνο. Η διάρκεια της φάσης της ωρίμανσης ποικίλει, ανάλογα με το τύπο της κομποστοποίησης, τη διάρκεια της ενεργής φάσης της κομποστοποίησης και της τελικής χρήσης του κόμποστ. Η φάση της ωρίμανσης γενικά θεωρείται ολοκληρωμένη, όταν η σωρός μετά από επαναλαμβανόμενες αναδεύσεις επιστρέφει στη θερμοκρασία περιβάλλοντος (United States Department of Agriculture, 2010).

1.2.4 Υλικά Κομποστοποίησης

Όλα τα απόβλητα που περιέχουν οργανική ουσία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες για τη κομποστοποίηση. Πρακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν: η κοπριά αγροτικών ζώων και πτηνών, η βιολογική λάσπη, τα τροφικά απόβλητα, τα κλαδέματα δέντρων και γρασιδιού, τα φύλλα, τα ξέρα χόρτα, το άχυρο, τα λίπη, το χαρτί, το ξύλο, τα απόβλητα ζυθοποιίας. Αυτές οι πηγές παρουσιάζονται με τη μορφή πίνακα πιο κάτω (Nandwani, 2014) (Πίνακας 1.2.4.1).

Πίνακας 1.2.4.1: Πηγές υλικών προς κομποστοποίηση (Nandwani, 2014).

Οικιακά οργανικά απόβλητα	Γεωργικά οργανικά απόβλητα, οργανικά απόβλητα κουζίνας – κήπου	Εμπορικά και βιομηχανικά οργανικά απόβλητα
----------------------------------	---	---

Απόβλητα φρούτων/λαχανικών	Φύλλα	Αγροβιομηχανικά απόβλητα ζυθοποιίας, καπνού, βαμβακιού
Τσόφλια αυγών, κελύφη ξηρών καρπών	Υπολείμματα γρασιδιού	Ιζήματα αποχετεύσεων και αποστραγγιστικών συστημάτων
Απόβλητα καφέ/τσαγιού	Κλαδέματα δέντρων και θάμνων	Σκόνη
Στάχτη ξύλου, λουλούδια, φυτά κήπου, φυτικά υπολείμματα, χαρτί τουαλέτας, χαρτί συσκευασίας	Πεσμένα φρούτα, απόβλητα αγορών, υπολείμματα καλλιεργειών (ρίζες, μίσχοι, στελέχη), άχυρο, φυτικά απόβλητα από χλοοτάπητα και πάρκα	Απόβλητα χαρτιού και βιομηχανιών ξυλίας
Απορρίμματα τροφίμων	Διάφορα είδη κοπριάς οικόσιτων ζώων και πτηνών	Απόβλητα από γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες
Διάφορα είδη οικιακής σκόνης	Κουφάρια νεκρών ζώων και πτηνών	Απόβλητα βιομηχανίας επεξεργασίας τροφίμων

1.3 Συστήματα Κομποστοποίησης (Kumar, 2010)

Υπάρχουν τρία κύρια συστήματα κομποστοποίησης: Η μέθοδος στατικών αεριζόμενων σωρών (Aerated Static Pile), το κλειστό σύστημα (Enclosed System-In-vessel Silo-type) και η μέθοδος γραμμικών σωρών (Windrow System) και τα οποία περιγράφονται πιο κάτω (**Γράφημα 1.3.1**).

1. Μέθοδος γραμμικών σωρών (Windrow System)

Με την μέθοδο αυτή το αναμειγμένο υλικό κομποστοποίησης τοποθετείται σε σωρούς, όπου αναδεύεται περιοδικά με κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό. Το

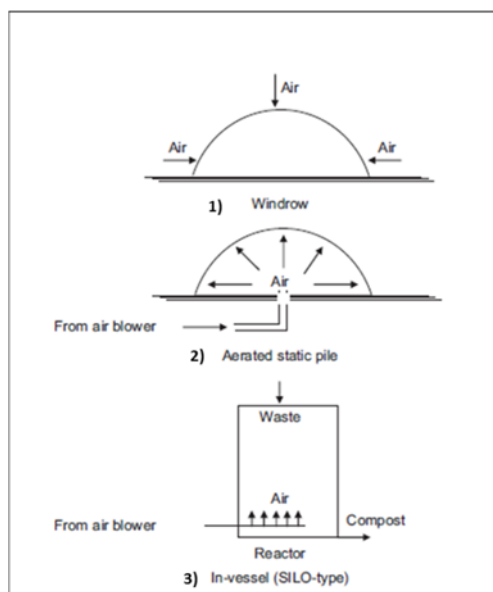
ύψος, το πλάτος και το σχήμα των γραμμικών σωρών εξαρτάται από την φύση του θρεπτικού υλικού και τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για ανάδευση. Μερικές φορές, η θερμοκρασία της μάζας του θρεπτικού υλικού χρησιμοποιείται ως δείκτης ώστε οι σωροί να αναδεύονται όταν η θερμοκρασία βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο (55°C–60°C) (Kumar, 2010).

2. Μέθοδος στατικών αεριζόμενων σωρών (Aerated Static Pile)

Συνήθως σε αυτό το σύστημα σχηματίζονται σωροί οργανικών αποβλήτων, που καλύπτονται με κόμποστ για να μειωθούν οι οσμές και να διατηρηθεί η υψηλή θερμοκρασία στο εσωτερικό της σωρού. Ο αερισμός γίνεται με εισαγωγή αέρα από το κάτω μέρος του αντιδραστήρα προς τα πάνω. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για ομοιογενή υλικά, όπως η βιολογική λάσπη, ενώ δεν είναι κατάλληλη για ετερογενή υλικά όπως τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (MSW) (Kumar, 2010).

3. Κλειστό σύστημα (Enclosed System In-vessel SILO-type)

Το οργανικό υλικό κομποστοποιείται μέσα σε αντιδραστήρες ποικίλου σχήματος, κάθετους ή οριζόντιους, ανοικτού ή κλειστού τύπου, αναδευόμενοι ή μη. Η διεργασία είναι συνεχής και ο αερισμός γίνεται μηχανικά, ενώ οι διάφορες παράμετροι όπως υγρασία θερμοκρασία ελέγχονται και ρυθμίζονται. Εξαιτίας του υψηλού κόστους των κλειστών συστημάτων, τα συστήματα αυτά υιοθετούνται μόνο όταν απαιτείται η χρήση του κόμποστ για εφαρμογή στο έδαφος (Kumar, 2010).



Γράφημα 1.3.1: Σχηματική απεικόνιση συστημάτων κομποστοποίησης: 1) Μέθοδος γραμμικών σωρών (Windrow System), 2) Μέθοδος στατικών αεριζόμενων σωρών (Aerated Static Pile), 3) Κλειστό σύστημα (Enclosed System In-vessel SILO-type) (Kumar, 2010).

1.3.1 Οικιακή Κομποστοποίηση

Σε οικιακή κλίμακα, η οικιακή κομποστοποίηση ή η κομποστοποίηση στον κήπο, είναι η πλέον συχνή εναλλακτική λύση σε σχέση με την υγειονομική ταφή (Read et al., 2009). Η οικιακή κομποστοποίηση περιλαμβάνει τη κομποστοποίηση των οικιακών βιοδιασπώμενων αποβλήτων σε μικρή κλίμακα, όπως αυτής σε ιδιωτικούς κήπους, με την οποία αποφεύγεται η συλλογή μέρους των δημοτικών αποβλήτων, ενώ παράλληλα μειώνονται οι υλικές και ενεργειακές επενδύσεις σε υποδομές όπως επίσης και η χρήση της γης (Faverial and Sierra, 2014).

Τα τελευταία δέκα χρόνια παρατηρείται μια σταθερή αύξηση του ρυθμού των κοινοτήτων που προωθούν τα προγράμματα ανακύκλωσης οικιακών απορριμμάτων, ενώ πολλές χώρες και πόλεις πειραματίζονται με διάφορες μεθόδους μείωσης των αποβλήτων χρησιμοποιώντας οικιακούς κομποστοποιητές (Andersen et al., 2012; Smith and Jasim, 2009).

Η οικιακή κομποστοποίηση παρουσιάζει κάποια πιθανά οφέλη σε σχέση με την βιομηχανική κομποστοποίηση. Με την οικιακή κομποστοποίηση αποφεύγεται η συλλογή σημαντικού μέρους των αστικών στέρεων αποβλήτων, μειώνοντας έτσι τις οικονομικές, υλικές και ενεργειακές επενδύσεις σε υποδομές (Jasmin and Smith, 2003), κάτι που συνεπάγεται λιγότερη χρήση γης. Από τεχνικής άποψης, η οικιακή κομποστοποίηση επιτρέπει πιο συγκεκριμένο έλεγχο της διαδικασίας κομποστοποίησης, η οποία δύναται να παράξει ένα καλύτερο τελικό προϊόν από αυτό που λαμβάνεται από τη βιομηχανική κομποστοποίηση (Sierra et al., 2013).

Για μικρής κλίμακας υπαίθρια κομποστοποίηση, οι κλειστοί κάδοι είναι οι πιο πρακτικοί. Οι κάδοι κομποστοποίησης περικλείονται στις πλευρές και στην κορυφή και ανοίγουν στο κατώτατο σημείο έτσι ώστε να κάθονται απευθείας στο έδαφος. Πρόκειται για κοινές μονάδες κομποστοποίησης για κατοικίες και κατοικημένες περιοχές, όπου οι κάδοι τείνουν να είναι μικρότεροι και πολύ καλά κλειστοί ώστε να αποθαρρύνουν την είσοδο των παράσιτων. Αυτοί οι κάδοι είναι σχετικά φτηνοί αλλά δύσκολοι στον εξαερισμό της σωρού κομποστοποίησης και πιθανόν να χρειαστεί αρκετός χρόνος για τη παράγωγη του κομπόστ (**Εικόνα 1.3.1.1**).



Εικόνα 1.3.1.1: Κάδος κομποστοποίησης κλειστού τύπου (Straight Manufacturing, 2018).

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος κλειστού κάδου είναι ο περιστρεφόμενος κομποστοποιητής. Παρέχει την δυνατότητα σχετικά υψηλής θερμοκρασίας στον κάδο λόγω της μόνωσης που προσφέρει, ενώ παράλληλα λόγω της δυνατότητας περιστροφής του κάδου παρέχεται η δυνατότητα καλού εξαερισμού, γεγονός που διατηρεί τους μικροοργανισμούς ενεργούς (**Εικόνα 1.3.1.2**).



Εικόνα 1.3.1.2. Περιστρεφόμενου τύπου κομποστοποιητής (Eartheasy, 2014).

1.4 Τελικές Χρήσεις Προϊόντων Κομποστοποίησης

Καθώς οι χώροι υγειονομικής ταφής φτάνουν στη πληρότητα τους και απαγορεύουν τη απόθεση των οργανικών αποβλήτων, η λιπασματοποίηση γίνεται ολοένα και πιο βιώσιμη λύση για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων. Επίσης η κομποστοποίηση της ζωικής κοπριάς μπορεί να αποτελέσει λύση για τη διαχείριση της στις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Το πιο σημαντικό είναι ότι το τελικό προϊόν είναι ένας πολύτιμος πόρος για το έδαφος. Το κομπόστ μπορεί να αντικαταστήσει προϊόντα όπως η τύρφη και το φυτόχωμα, ως υποβοηθητικό της βλάστησης των σπορών, ως μείγμα με άλλα φυτοχώματα για τη φύτευση σε γλάστρες, ως εδαφοβελτιωτικό, ως φυσικό λίπασμα σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες καθώς και σε εξωτερικές καλλιέργειες, ως φυσικό υλικό εδαφοκάλυψης (για τη συγκράτηση της υγρασίας τους εδάφους, την αποτροπή της βλάστησης των σπόρων των ζιζανίων), ως υποβοηθητικό για την αποκατάσταση καταστραμμένου χλοοτάπητα και την αποκατάσταση εδαφών που έχασαν τη γονιμότητα τους (Cooperband, 2002)(Πίνακας 1.4.1).

Πίνακας 1.4.1: Τελικές Χρήσεις Προϊόντων Κομποστοποίησης.

Πηγες	Χρήσεις Κόμποστ
Γεωργία/Φυτοκομία/Καλλιέργειες	Εκκινητής βλάστησης σπορών, εδαφοβελτιωτικό, φυσικό λίπασμα, μίγμα για γλάστρες, φυσικό υλικό εδαφοκάλυψης
Έδαφος	Εδαφοβελτιωτικό, φυσικό υλικό εδαφοκάλυψης, εκκινητής βλάστησης σπορών, φυσικό λίπασμα
Δασοπονία	Εδαφοβελτιωτικό, φυσικό υλικό εδαφοκάλυψης, εκκινητής βλάστησης σπορών
Αποκατάσταση εδαφών	Φυσικό υλικό εδαφοκάλυψης

Πιο συγκεκριμένα:

➤ Γεωργία/Φυτοκομία/Καλλιέργειες:

Ο κλάδος την γεωργίας αντιπροσωπεύει μια μεγάλη αγορά για το κόμποστ. Η θρεπτική αξία του και η δυνατότητα του να βελτιώνει την ποιότητα του εδάφους το καθίστα ιδανικό για τη γεωργία, υπό τον όρο ότι λαμβάνονται οι σωστές προφυλάξεις για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Όταν το κόμποστ ενσωματώνεται στο έδαφος, παρέχεται η δυνατότητα να αυξηθεί σημαντικά η περιεχόμενη οργανική ουσία του εδάφους, η οποία μειώνεται συνεχώς στο έδαφος ειδικότερα σε περιοχές με μειωμένες βροχοπτώσεις (Bellamy et al., 2005). Η διατήρηση και η αύξηση την οργανικής ουσίας στο έδαφος είναι ένας βασικός δείκτης ποιότητας του εδάφους, που πολιτικά θεωρείται ως βασική προτεραιότητα για την διατήρηση της λειτουργίας των οικοσυστημάτων. Η προσθήκη κόμποστ στο έδαφος μπορεί τουλάχιστον να αυξήσει προσωρινά την περιεχόμενη οργανική ουσία του εδάφους και στην προώθηση της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους. Στα επιπλέον πλεονεκτήματα της προσθήκης κόμποστ στο έδαφος συμπεριλαμβάνονται οι μειωμένες απώλειες λόγω διάβρωσης, η μείωση της

πυκνότητας και η βελτίωση της δομικής σταθερότητας (Tejada and Gonzalez, 2007; Farrell and Jones, 2009).

➤ Εξωραϊσμός τοπίου:

Έχει αποδειχτεί ότι η βιομηχανία εξωραϊσμού τοπίου είναι μια από τις μεγαλύτερες αγορές κόμποστ, αγοράζοντας το τόσο σε χύμα μορφή όσο και σε σάκο. Οι αρχιτέκτονες τοπίου χρησιμοποιούν το κόμποστ για την τροποποίηση του εδάφους άλλα και για επιφανειακή κάλυψη όπως επίσης στην κατασκευή χλοοτάπητα. Το προϊόν είναι επίσης ανταγωνιστικό από άποψη κόστους σε σχέση με άλλα προϊόντα που χρησιμοποιούνται επί το παρόντος όπως η τύρφη, ενώ η χρήση του φαίνεται να μειώνει την απώλεια φυτών σε έργα εξωραϊσμού, μειώνοντας τη συνολικό κόστος ενός έργου (Environment and Climate Change Canada, 2013).

➤ Αποκατάσταση εδαφών:

Το κόμποστ χρησιμοποιείται για την αποκατάσταση εδαφών που έχει υποβαθμιστεί η ποιότητάς τους ή εδαφών που έχουν υποστεί ζημιά (κλειστών χώρων υγειονομικής ταφής, λατομείων, βιομηχανικών εκτάσεων και χώρων εξόρυξης πετρελαίου) ή αυτών που έχουν μολυνθεί από μια ποικιλία χημικών προσμίξεων από υδρογονάνθρακες πετρελαίου και βαρέα μέταλλα.

Η αποκατάσταση εδαφών με τη χρήση κόμποστ είναι μια αρκετά οικονομικά βιώσιμη λύση, που επιτρέπει την επί τόπου κατεργασία του εδάφους σε σχέση με την απομάκρυνση μεγάλων όγκων εδάφους, που έχουν ως μοναδικό σκοπό την αντικατάσταση του με μεγάλους όγκους ξενόφερτου χώματος (Environment and Climate Change Canada, 2013).

➤ Μεταπώληση

Οι μεταπωλητές αντιπροσωπεύουν μια ποικιλία διαφόρων επιχειρήσεων όπως: φυτώριων, ανθοπωλείων, εταιριών τροφοδοσίας καταστημάτων, έμπορων χλοοτάπητα και πολυκαταστημάτων. Ορισμένοι μεταπωλητές μπορούν να πουλήσουν προϊόντα μόνο σε σακούλα ή μόνο χύμα ενώ άλλοι μπορούν να πουλούν και στις δυο μορφές. Το κόμποστ μπορεί να προωθηθεί στο εμπόριο ως

ένα ευπροσάρμοστο προϊόν, που είναι σχετικά καινούργιο για τη βιομηχανία του γρασιδιού και του κήπου (Environment and Climate Change Canada, 2013).

➤ Έλεγχος της διάβρωσης και των ιζημάτων

Ο έλεγχος της διάβρωσης και των ιζημάτων είναι μια από τις ταχύτερη αναπτυσσόμενες χρήσεις του κόμποστ, ειδικότερα σε γεωγραφικές περιοχές όπου η διαχείριση της διάβρωσης και των ιζηματικών απωλειών ως μέσου προστασίας των επιφανειακών υδάτων αποτελεί προτεραιότητα. Το κόμποστ για αυτή τη χρήση πρέπει να είναι χοντροειδές (ξυλώδες). Οι αγορές που βασίζονται σε αυτό το είδος της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν τον εξωραϊσμό, τις οικοδομικές κατασκευές και τις κατασκευές κατά μήκος του οδικού δικτύου (Environment and Climate Change Canada, 2013).

1.4.1 Περιβαλλοντικά Οφέλη Χρήσης του Κόμποστ

Η έκτροπη των Αστικών Στερεών Αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής διαμέσου της κομποστοποίησης παρουσιάζει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η Αμερικανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος υπολόγισε την πρόοδο της μείωσης της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου που συνδέεται με την ανάκτηση της οργανικής ουσίας από τα Αστικά Στερεά Απόβλητα διαμέσου της διεργασίας της κομποστοποίησης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά πάνω από 22 εκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων και κλαδεμάτων κομποστοποιήθηκαν κατά το 2013, παρέχοντας μείωση άνω των 2.74 εκατομμυρίων τόνων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που ισοδυναμεί με την απάλειψη των εκπομπών 528 000 επιβατικών οχημάτων ανά έτος (Wei et al., 2017).

Υπάρχουν και άλλες δραστηριότητες που σχετίζονται με την κομποστοποίηση και οι όποιες συμβάλουν επίσης στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, όμως σε μικρότερο βαθμό. Η ανακύκλωση της οργανικής ουσίας στο έδαφος, παρέχει την αποκατάσταση του άνθρακα και το σχηματισμό χούμου. Επίσης, η μείωση της χρήσης χημικών λιπασμάτων ως αποτέλεσμα της εφαρμογής κομποστ

παρέχει επίσης εξοικονόμηση ενέργειας (Environment and Climate Change Canada, 2013).

Το κομπόστ είναι μια πλούσια πηγή οργανικής ουσίας με σπουδαία χαρακτηριστικά, ως προς τη βελτίωση των χημικών, φυσικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Συγκεκριμένα, βελτιώνει τη συγκράτηση του νερού στα αμμώδη εδάφη και προάγει τη βελτίωση της δομής των αργιλωδών εδαφών με την αύξηση της σταθερότητας των αδρανών συστατικών τους. Η προσθήκη κομπόστ στο έδαφος αυξάνει τη γονιμότητα των εδαφών και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, γεγονός που μπορεί να μειώσει τη χρήση των λιπασμάτων μέχρι και 50%. Το έδαφος γίνεται μικροβιακά ενεργό, άλλα επίσης δρα και ως ανασταλτικός παράγοντας στο πολλαπλασιασμό των επιβλαβών παθογόνων οργανισμών του εδάφους που προσβάλλουν τις καλλιέργειες. Η ενισχυμένη μικροβιακή δραστηριότητα επιταχύνει επίσης τη διάσπαση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και άλλων συνθετικών οργανικών ενώσεων. Το κομπόστ δρώντας ως εδαφοβελτιωτικό μειώνει τη βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων, συμβάλλοντας έτσι στην αποκατάσταση μολυσμένων εδαφών (Cooperband, 2002; United States Department of Agriculture, 2000).

1.4.2 Κοινωνικά Οφέλη Χρήσης του Κόμποστ

Όλα τα περιβαλλοντικά οφέλη που συνδέονται με την έκτροπη των οργανικών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής καθώς και από την κομποστοποίηση, παρέχουν επίσης κοινωνικά οφέλη. Η μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων, βοηθούν στη προστασία της ανθρώπινης υγείας και στην πρόληψη της υποβάθμισης των φυσικών οικοσυστημάτων.

Η απομάκρυνση των οργανικών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής μειώνει τις ανησυχίες που προκαλούνται στους πολίτες από τις οσμές που εκλύονται και τη μόλυνση του υπογείου υδροφορέα, με επακόλουθο τη μείωση των κοινωνικών αρνητικών επιπτώσεων για τις γύρω κοινότητες, άλλα και για την κοινωνία γενικότερα.

Η δημιουργία των εγκαταστάσεων παράγωγης κομπόστ, αλλά και η τελική χρήση του παραγόμενου προϊόντος, οδηγούν επίσης σε πολυάριθμα κοινωνικά οφέλη. Η ανάπτυξη εγκαταστάσεων πλησίον των κοινοτήτων στις όποιες παράγονται τα οργανικά απόβλητα, δύναται να ενθαρρύνει την πιο ενεργή συμμετοχή της κοινότητας. Οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται κοντά στην πηγή παράγωγης αποβλήτων, μειώνουν επίσης τις απαιτήσεις της μεταφοράς, κάτι που μπορεί επίσης να προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη για την υγεία μέσω της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η τελική χρήση του κομπόστ, προάγει επίσης την απασχόληση και μια νέα πράσινη οικονομία. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, τόσο κατά τη φάση της κατασκευής όσο και κατά τη λειτουργία τους. Η διαχείριση της κομποστοποίησης υποστηρίζει την οικονομική ανάπτυξη διάμεσου της απασχόλησης: στη μεταφορά, στην εμπορία, στην ερευνά και την εκπαίδευση. Με τη μείωση των αναγκών σε χημικά λιπάσματα και τη βελτίωση της σύστασης των εδαφών, η ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων συμβάλει στην αειφορία της γεωργίας και της αύξησης της παράγωγης τροφίμων (Environment and Climate Change Canada, 2013).

1.4.3 Οικονομικά Οφέλη Χρήσης του Κόμποστ

Η ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων συμβάλει σημαντικά στους στόχους της κυκλικής οικονομίας (European Compost Network, 2016a):

- Κλείνει τους κύκλους των οργανικών υλικών και περιορίζει τη γραμμική οικονομία της υγειονομικής ταφής και της αποτέφρωσης των οργανικών αποβλήτων.
- Συμβάλει στην μακροπρόθεσμη γονιμότητα του εδάφους και στην απομόνωση του άνθρακα στο έδαφος και στην παραγωγή ποιοτικών εδαφοβελτιωτικών και οργανικών λιπασμάτων.
- Παράγει βιολογικά προϊόντα που μπορούν να αντικαταστήσουν προϊόντα με βάση τα ορυκτά, όπως τα χημικά λιπάσματα, την τύρφη και τα ορυκτά καύσιμα.

- Δημιουργεί μια τοπική οικονομία με σταθερές θέσεις εργασίας. Με βάση προηγούμενη εμπειρία σε χώρες με εγκατεστημένες υποδομές ανακύκλωσης οργανικών αποβλήτων, η ανακύκλωση 100 εκατομμύρια τόνων θα οδηγούσε σε 20 000 θέσεις εργασίας. Επιπλέον, συμβάλει στη βελτίωση του εισοδήματος των γεωργών και στην κατανομή των θέσεων εργασίας στις αγροτικές περιοχές.
- Συμβάλει στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής με την αντικατάσταση της ορυκτής ενέργειας, των ορυκτών καύσιμων, της τύρφης και των χημικών λιπασμάτων, στην απομόνωση του άνθρακα στο έδαφος και στην αποφυγή των εκπομπών αερίων από τα εν λόγω απόβλητα.
- Ο διαχωρισμός των οργανικών αποβλήτων από τα υπόλοιπα απόβλητα, επιτρέπει επίσης την αύξηση των ποσοστών της ανακύκλωσης άλλων αποβλήτων (γυαλί, πλαστικά και μέταλλα).

Τα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης συνοψίζονται στα πιο κάτω:

- Εξάλειψη των παθογόνων και των ζιζανίων
- Μικροβιακή σταθεροποίηση
- Μείωση του όγκου των απόβλητων και της υγρασίας
- Απομάκρυνση και ο έλεγχος των οσμών
- Ευκολία μεταφοράς και χρήσης
- Παράγωγή λιπασμάτων καλής ποιότητας.

Ωστόσο, από την άλλη τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει είναι:

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης και διαχείρισης
- Ανάγκη για μεγάλους χώρους αποθήκευσης και λειτουργίας των μονάδων παράγωγης κομπόστ (Nandwani, 2014).

1.5 Νομοθετικά πλαίσια

Επί του παρόντος, η κυρία περιβαλλοντική απειλή από τα οργανικά απόβλητα είναι η παράγωγή μεθανίου λόγω της αποσύνθεσης τους στους χώρους υγειονομικής ταφής που αντιπροσώπευαν το 1995 στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 15 μελών κρατών το 3% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η

Οδηγία Πλαίσιο του Συμβούλιου της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την υγειονομική ταφή (1999/31/ΕΚ) υποχρεώνει τα κράτη μέλη να μειώσουν μέχρι το 2016 τον όγκο των βιοδιασπώμενων αστικών αποβλήτων που απορρίπτονται στο 35% σε σχέση με τα επίπεδα του 1995 (για ορισμένες χώρες μέχρι το 2020), πράγμα που θα μειώσει αισθητά το πρόβλημα.

Η Οδηγία Πλαίσιο (1999/31/ΕΚ) για την υγειονομική ταφή δεν προβλέπει συγκεκριμένες επιλογές για τη διαχείριση των εκτρεπόμενων αποβλήτων. Τα σημαντικότερα οφέλη από τη σωστή διαχείριση των οργανικών αποβλήτων εκτός της αποφυγής των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, είναι η παράγωγή καλής ποιότητας κομποστ και βιοκαυσίμων που συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας των εδαφών και την αποδοτικότητα των πόρων καθώς και σε υψηλότερο επίπεδο ενεργειακής επάρκειας. Ωστόσο, στη πράξη τα κράτη μέλη δεν επιλέγουν τη κομποστοποίηση ή τη παράγωγή βιοκαυσίμων, αλλά φαινομενικά ευκολότερες και φτηνότερες επιλογές, όπως η αποτέφρωση και η υγειονομική ταφή αγνοώντας τα πραγματικά περιβαλλοντικά οφέλη και το περιβαλλοντικό κόστος.

Μια σειρά από νομοθετικές πράξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης διευθετούν το ζήτημα της διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων. Οι γενικές απαιτήσεις της διαχείρισης των αποβλήτων, όπως η προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των αποβλήτων, καθορίζονται στην ανανεωμένη Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα (2008/98/ΕΚ), η οποία περιέχει επίσης ειδικά στοιχεία που σχετίζονται με τα οργανικά απόβλητα (νέοι στόχοι ανακύκλωσης για οικιακά απόβλητα συμπεριλαμβανομένων των οργανικών αποβλήτων) και ένα μηχανισμό που επιτρέπει το καθορισμό κριτηρίων ποιότητας για την κομποστοποίηση. Η Οδηγία Πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (1999/31/ΕΚ) απαιτεί την εκτροπή των βιοδιασπώμενων αστικών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής.

Η Οδηγία Πλαίσιο (2008/1/ΕΚ) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, καθορίζει τις βασικές αρχές

για την αδειοδότηση και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων χωρητικότητας άνω των 50 τόνων ημερησίως. Η αποτέφρωση των οργανικών αποβλήτων ρυθμίζεται με την Οδηγία αποτέφρωσης των οργανικών αποβλήτων (2000/76/EK) του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ενώ οι κανόνες υγιεινής για τις μονάδες κομποστοποίησης και βιοαερίου που προέρχονται από την επεξεργασία ζωικών υποπροϊόντων καθορίζονται από τον Κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για τα ζωικά υποπροϊόντα (1069/2009/EK).

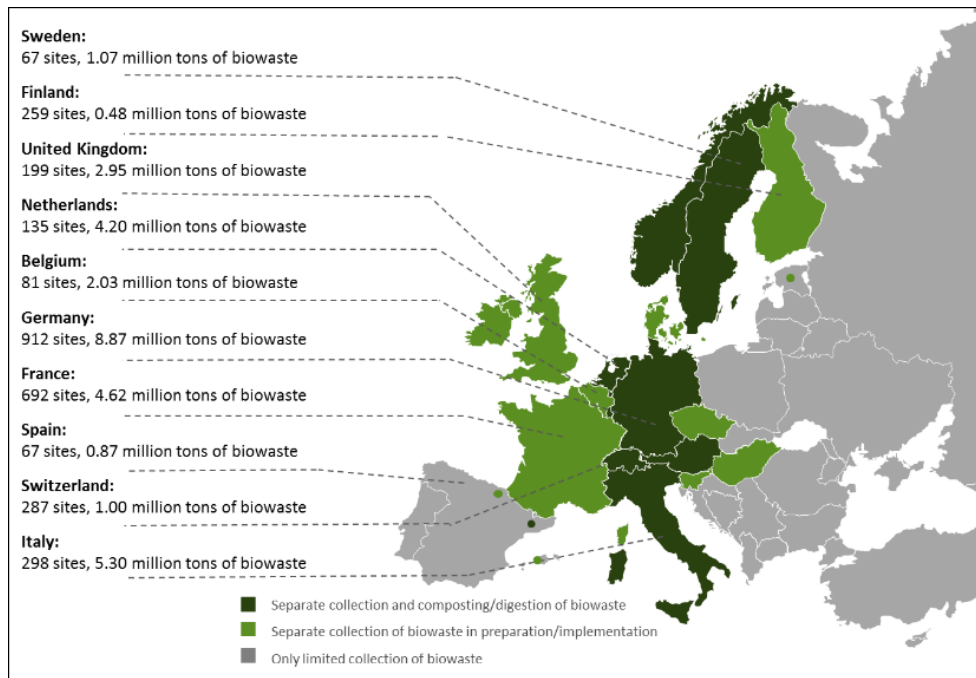
1.6 Κομποστοποίηση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Σε πολλές χώρες του κόσμου, η κομποστοποίηση έχει υιοθετηθεί ως λύση για την έκτροπη των οργανικών αποβλήτων όπως για παράδειγμα των πράσινων απορριμμάτων, των απορριμμάτων κουζίνας και άλλων, από τους χώρους υγειονομικής ταφής και από την αποτέφρωση (Wei et al., 2017). Η απομάκρυνση των πράσινων απορριμμάτων από το ρεύμα των αστικών αποβλήτων εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια στη Βόρεια Αμερική (Levis et al., 2010) και σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες, συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γερμανίας και της Ισπανίας (Slater and Frederickson, 2001). Ωστόσο, η έκτροπη των τροφικών αποβλήτων παραμένει πολύ πίσω σε σχέση με την έκτροπη των πράσινων απορριμμάτων.

Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν αναληφθεί μεγάλες προσπάθειες για την ανακύκλωση των τροφικών αποβλήτων διαμέσου της κομποστοποίησης. Η Οδηγία Πλαίσιο για την Υγειονομική Ταφή των αποβλήτων (1999/31/EK) και η Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα (2008/98/EK), απαιτούν από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να μειώσουν το ποσοστό των βιοδιασπώμενων αστικών αποβλήτων που αποστέλλονται στους χώρους υγειονομικής ταφής και να ανακυκλώνουν το οργανικό κλάσμα χρησιμοποιώντας περιβαλλοντικά φιλικά επιλογές.

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν υιοθετήσει μια σειρά μέτρων για να συμμορφωθούν με αυτούς τους στόχους. Για παράδειγμα, εφαρμόστηκαν αυστηρότερες πολιτικές φορολόγησης για την υγειονομική ταφή από περισσότερες από 20 χώρες, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα βιοδιασπώμενα αστικά απόβλητα που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής (Fischer et al., 2012). Επιπλέον, η χωριστή συλλογή των οργανικών αποβλήτων υλοποιήθηκε στις μισές χώρες κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, το σύστημα συλλογής απορριμμάτων από πόρτα σε πόρτα εφαρμόζεται σε 13 κράτη μέλη, ενώ δυο κράτη μέλη πραγματοποιούν συλλογή από πόρτα σε πόρτα για τα πράσινα απόβλητα μόνο.

Υπάρχουν μεγάλες διάφορες όσον αφορά την ξεχωριστή συλλογή και επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Χώρες όπως είναι η Αυστρία, η Ελβετία, η Γερμανία, η Ολλανδία, η Δανία, το Βέλγιο, η Σουηδία και η Νορβηγία στηρίζονται σε ξεχωριστά συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων για πάνω από 15 χρόνια, ενώ χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία, η Φινλανδία, η Ιρλανδία, η Σλοβενία, η Εσθονία και η Γαλλία σημείωσαν σημαντική πρόοδο κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες επέκτασης σε ορισμένες χώρες όπως είναι η Βουλγαρία, η Ελλάδα, η Κροατία, η Λετονία, η Λιθουανία, η Μάλτα, η Πολωνία, η Πορτογαλία, η Ρουμανία, η Σλοβακία, η Ισπανία, η Τσεχία, η Ουγγαρία και η Κύπρος (**Γράφημα 1.6.1**).



Γράφημα 1.6.1: Η κατάσταση της χωριστής συλλογής των βιοδιασπώμενων αποβλήτων σε ευρωπαϊκές χώρες (European Compost Network, 2016b).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η ποσότητα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων που παρήχθησαν το 2016 ανήλθε στα 480 κιλά/άτομο. Αυτό το ποσοστό ήταν μειωμένο κατά 8,7 % σε σχέση με τη παραγόμενη ποσότητα των 527 κιλών ανά άτομο το 2002. Από το 2007 η παραγωγή των αστικών απόβλητων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης μειώνεται συνεχώς ανά άτομο, βρίσκεται δηλαδή κάτω από τα επίπεδα των παραγόμενων αποβλήτων στα μέσα της δεκαετίας του 1990.

Από τα 481 κιλά/άτομο παραγόμενων αστικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2013, τα 470 κιλά έτυχαν επεξεργασίας: το 31% εναποτέθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής, το 28% ανακυκλώθηκε, το 26% αποτεφρώθηκε, ενώ το 15% κομποστοποιήθηκε. Το ποσοστό των αστικών αποβλήτων που ανακυκλώθηκε ή κομποστοποιήθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση αυξάνεται σταθερά, από 18% το 1995 στο 43% το 2013.

Οι μέθοδοι διαχείρισης των αστικών αποβλήτων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των κρατών μελών. Το 2013 ποσοστό ενός τρίτου ή και περισσότερο από τα

αστικά απόβλητα ανακυκλώθηκαν στη Σλοβενία (55%), στη Γερμανία (47%), στο Βέλγιο και στην Ιρλανδία (34%) και στη Σουηδία (33%). Η κομποστοποίηση είναι πιο διαδεδομένη στην Αυστρία (35%), ακολουθούμενη από την Ολλανδία (26%), το Βέλγιο (21%) και το Λουξεμβούργο (20%). Τουλάχιστον το ήμισυ των αστικών αποβλήτων που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία το 2013 αποτεφρώθηκαν στην Εσθονία (64%), στη Δανία (54%) και στη Σουηδία (50%), ενώ τα υψηλότερα ποσοστά αστικών αποβλήτων καταγράφηκαν στη Ρουμανία (97%) στη Μάλτα (88%), την Κροατία (85%), τη Λετονία (83%) και την Ελλάδα (81%). Η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση αντιπροσώπευαν το 2013 σχεδόν τα δύο τρίτα (65%) της επεξεργασίας αποβλήτων στη Γερμανία και περισσότερο από το ήμισυ στη Σλοβενία (61%), Αυστρία (59%) και Βέλγιο (55%) (Eco Innovation, 2013).

1.6.1 Κομποστοποίηση στην Ολλανδία

Ο τομέας της κομποστοποίησης είναι οργανωμένος γύρω από δυο κατηγορίες οργανικών αποβλήτων: α) τα πράσινα και β) τα οικιακά. Τα πράσινα απόβλητα περιλαμβάνουν οργανικά υπολείμματα από δημοσίους χώρους πρασίνου όπως πάρκα, δρόμους. Τα οικιακά οργανικά απόβλητα που αναφέρονται και ως απόβλητα φρούτων και κήπων, είναι το οργανικό μέρος των οικιακών απορριμμάτων που συλλέγονται χωριστά από τους δήμους.

Το σύνολο των πράσινων απόβλητων ανέρχεται σε περίπου 2,5 εκατομμύρια τόνους/έτος και τα όποια κομποστοποιούνται συνήθως με τη μέθοδο των γραμμικών σορών (Windrow system), όπου ένα μέρος του υλικού χρησιμοποιείται για τη παρασκευή ξύλου για βιοενέργεια. Οι υποδομές κομποστοποίησης πράσινων απορριμμάτων αποτελούνται περίπου από 100 εγκεκριμένες εγκαταστάσεις, με χωρητικότητες που κυμαίνονται από 1000 τόνους/έτος έως και περισσότερο από 100000 τόνους/έτος.

Τα οικιακά οργανικά απόβλητα που συλλέγονται ξεχωριστά απαριθμούν στους 1,3 εκατομμύρια τόνους/έτος. Αυτά τα υπολείμματα κομποστοποιούνται σε κλειστού τύπου συστήματα (In vessel). Τα τελευταία χρόνια, η πλειοψηφία

αυτών των μονάδων πρόσθεσε ένα στάδιο αναερόβιας χώνευσης πριν τη μονάδα κομποστοποίησης. Ο αναερόβιος χωνευτής παράγει βιοαέριο, το οποίο μετατρέπεται σε φυσικό αέριο, είτε χρησιμοποιείται για την παράγωγη ενέργειας και θερμότητας. Η Ολλανδία απαριθμεί γύρω στις 20 μονάδες επεξεργασίας οικιακών οργανικών αποβλήτων. Στον **Πίνακα 1.6.1.1** φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των προϊόντων κομποστοποίησης στις διάφορες αγορές κατά το έτος 2015 στην Ολλανδία (European Compost Network, 2018).

Πίνακας 1.6.1.1: Ποσοστιαία κατανομή των προϊόντων κομποστοποίησης στις διάφορες αγορές κατά το έτος 2015 στην Ολλανδία (European Compost Network, 2018).

Αγορές	Κομπόστ Πράσινων Αποβλήτων	Κομπόστ οικιακών αποβλήτων
Γεωργία	45%	63%
Λαχανοκομία (θερμοκήπια)	2%	2%
Κηποτεχνία	13%	6%
Δήμοι (δημόσιοι χώροι πρασίνου)	2%	2%
Υπόστρωμα για γλάστρες και εδαφοβελτιωτικό	24%	15%
Ειδικό μείγμα για φυτεύσεις δέντρων σε αστικές περιοχές	10%	0%
Κατασκευαστικός τομέας (πχ οδικά έργα)	1%	3%
Εξαγωγές	0%	2%
Άλλα	4%	6%

1.6.2 Κομποστοποίηση στη Γερμανία

Για τις 468 μονάδες κομποστοποίησης στη Γερμανία, η συνολική ποσότητα των υλικών που κομποστοποιήθηκαν κατά το 2013 ήταν 6,04 εκατομμύρια τόνοι οργανικών αποβλήτων κάτι που αντιστοιχεί σε 12940 τόνους/μονάδα ετησίως. Εξαιτίας της διαφορετικής σύστασης των εισρεόμενων υλικών στις μονάδες κομποστοποίησης, το 47% το μονάδων αυτών επεξεργάστηκε μόνο πράσινα απόβλητα, ενώ το 53% των μονάδων επεξεργάστηκε ένα μείγμα ξεχωριστά συλλεγόμενων οργανικών αποβλήτων (συνήθως περιεχόμενου από βιοκάδους) και πράσινων αποβλήτων για κομποστοποίηση.

Τα περισσότερα από τα παραγόμενα προϊόντα κομποστοποίησης (61%), χρησιμοποιούνται ως οργανικά λιπάσματα και εδαφοβελτιωτικά στη γεωργία. Άλλοι τομείς εφαρμογής των προϊόντων κομποστοποίησης όπως η κηποτεχνία, ο κατασκευαστικός τομέας, δείχνουν μια ευνοϊκότερη κατάσταση στην αγορά, επειδή μπορούν να δημιουργήσουν υψηλότερα έσοδα. Οι αγορές αυτές όμως είναι σαφώς μικρότερες σε σχέση με αυτήν της γεωργίας (German Compost Quality Assurance Organisation, 2013) (**Πίνακας 1.6.2.1**).

Πίνακας 1.6.2.1: Ποσοστιαία κατανομή του κόμποστ στις διάφορες αγορές κατά το έτος 2013 στη Γερμανία (German Compost Quality Assurance Organisation, 2013).

Αγορές	Κόμποστ
Γεωργία	60,7%
Κατασκευαστικός τομέας	16,4%
Εξωραϊσμός τοπίου	7,6%
Αποκατάσταση εδαφών	7,4%
Εξειδικευμένες καλλιέργειες	3,7%
Κηποτεχνία	2,2%
Άλλα	2,1%

1.6.3 Κομποστοποίηση στη Κύπρο

Κατά τη χρονική περίοδο 2009 έως 2014 υπήρχαν στην Κυπριακή Δημοκρατία τέσσερις αδειοδοτημένοι φορείς για τη συλλογή και μεταφορά αποβλήτων ιστών φυτών και αποβλήτων δασοκομίας (κλαδέματα) και δυο αδειοδοτημένοι φορείς για την επεξεργασία των εν λόγω αποβλήτων. Σημειώνεται ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες κλαδεμάτων, ενδέχεται να συγκεντρώνονται στα διάφορα Πράσινα Σημεία σε όλες τις επαρχίες της Κύπρου, από όπου και θα συλλέγονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι δύο μονάδες επεξεργασίας, οι οποίες διαχειρίζονται τα κλαδέματα αφορούν μονάδες κομποστοποίησης διαφόρων οργανικών αποβλήτων. Η συνολική δυναμικότητα των εν λόγω μονάδων επεξεργασίας ανέρχεται σε 30,000 τόνους ανά έτος.

Σύμφωνα με την υφιστάμενη κατάσταση, το σύστημα διαχείρισης των κλαδεμάτων στην Κύπρο από άποψη επάρκειας στη συλλογή και μεταφορά και στις υποδομές επεξεργασίας τα έτη 2009 – 2013 δεν κρίνεται ως ικανοποιητικό. Έχουν εντοπιστεί σημαντικές ποσότητες κλαδεμάτων σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων, ενώ παράλληλα κάποιες ποσότητες κλαδεμάτων καίγονταν σχεδόν καθημερινά. Σημειώνεται ότι η εν λόγω κατηγορία αποβλήτων δεν συλλέγεται δωρεάν (Τμήμα Περιβάλλοντος, 2016).

Στη Κύπρο κατά το 2016 η παραγωγή των Αστικών Στέρεων Αποβλήτων ήταν 640 κιλά/άτομο εκ των οποίων το 9% κομποστοποιήθηκε, το 12% ανακυκλώθηκε ενώ το 79% των αποβλήτων αυτών οδηγήθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής (Eurostat, 2018).

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ)

Οι Πτητικές Οργανικές Ενώσεις (ΠΟΕ) είναι μια σημαντική κατηγορία χημικών ουσιών που βρίσκονται σχεδόν παντού στη καθημερινότητα μας, τόσο σε εσωτερικά όσο και σε εξωτερικά περιβάλλοντα. Προέρχονται από διάφορες ανθρωπογενείς ή βιογενείς δραστηριότητες και δυνητικά μπορούν να αποτελέσουν απειλή για την ανθρωπινή υγεία. Οι ΠΟΕ προκαλούν μεγάλη ανησυχία επειδή αποτελούν περιβαλλοντικούς ρυπαντές, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους, συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη (United States Environmental Protection Agency, 2017).

Έκτος από το ενδιαφέρον των επιδράσεων των ΠΟΕ στο περιβάλλον, υπάρχει ένα ευρύ ερευνητικό ενδιαφέρον ως προς την προέλευση τους, καθώς επίσης και ως προς τις ποικίλες εφαρμογές που πηγάζουν από διάφορους τομείς όπως η ιατρική, η γεωργία, η φαρμακευτική, καθώς και άλλα πεδία έρευνας και ανάπτυξης (United States Environmental Protection Agency, 2017).

Αρκετοί διεθνείς οργανισμοί προσπάθησαν να δώσουν ένα σαφή ορισμό για το τι ονομάζουμε ΠΟΕ:

- Οι ΠΟΕ περιλαμβάνουν όλες τις οργανικές ενώσεις (συμπεριλαμβανόμενου των βασικών στοιχείων άνθρακα και υδρογόνου) με σημείο βρασμού μεταξύ 50–260°C, εξαιρούμενων των φυτοφαρμάκων (World Health Organization, 2017). Θερμοκρασία βρασμού (ζέσης) ονομάζεται η θερμοκρασία εκείνη στην οποία η τάση ατμών των κορεσμένων ατμών κάποιου υγρού

εξισώνεται με την πίεση στην επιφάνεια του υγρού. Με πιο απλά λόγια, είναι η θερμοκρασία κατά την οποία ένα υγρό μεταβαίνει από την υγρή στη αέρια κατάσταση με την διαδικασία του βρασμού.

- Οι ΠΟΕ είναι οποιεσδήποτε ενώσεις του άνθρακα (εξαιρούμενων του μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα, του ανθρακικού οξέος, των μεταλλικών καρβιδίων ή ανθρακικών καρβιδίων και του ανθρακικού αμμωνίου), που λαμβάνουν μέρος στις φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα (United States Environmental Protection Agency, 2017).
- Ο όρος ΠΟΕ αναφέρεται σε οποιαδήποτε οργανική ένωση με αρχικό σημείο βρασμού μικρότερο ή ίσον των 250 °C (≤ 250 °C), μετρούμενο στη τυπική πίεση των 101,3 kPa (Οδηγία 2004/42/ΕΚ).
- Οι ΠΟΕ είναι οργανικές ενώσεις που έχουν τάση ατμών μεγαλύτερη από 0.1 Torr στους 25°C και 760 mmHg, οπότε θεωρούνται ως πτητικές ενώσεις (Giannoukos et al., 2016).

Οι παραπάνω ορισμοί που δίνονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, την Αρχή Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών και την Ευρωπαϊκή Ένωση, καταδεικνύουν τη σημασία του σημείου βρασμού και της τάσεως των ατμών για το χαρακτηρισμό των ΠΟΕ (Giannoukos et al., 2016).

- Γενικά οι ΠΟΕ μπορούν να οριστούν ως οι οργανικές ενώσεις των όποιων ο χημικός σχηματισμός τους, επιτρέπει την εξάτμιση τους προκαλώντας τη διάχυση τους στην αέρια φάση κάτω από κανονικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας. Κάθε πτητική οργανική ένωση (σύμφωνα με τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες και ιδιαιτέρα αυτή της τάσης των ατμών) συνοδεύεται συνήθως από την απελευθέρωση μιας χαρακτηριστικής οσμής.

Οι ΠΟΕ παράγονται τόσο από εσωτερικές όσο και από εξωτερικές πηγές. Αυτές που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους έχουν την ιδιότητα να εξατμίζονται σε θερμοκρασία δωματίου υπό συνθήκες κανονικής πίεσης και μπορούν για παράδειγμα να απελευθερωθούν από μπογιές, έπιπλα, χαλιά, είδη καθαρισμού, κλπ (World Health Organization, 2017).

Οι ΠΟΕ που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους είναι εκείνες οι ενώσεις που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες (φωτοχημική οξείδωση) και

παράγονται συνήθως από βιομηχανικές δραστηριότητες, πυρκαγιές, εκπομπές οχημάτων, εργοστασίων.

Επιπλέον, οι εκπομπές των ΠΟΕ μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την προέλευση τους, δηλαδή σε ανθρωπογενείς και βιογενείς. Οι ανθρωπογενείς ΠΟΕ είναι αυτές που συνήθως εκπέμπονται από βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανόμενων των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων, βιομηχανίες τροφίμων, χώρους υγειονομικής ταφής, κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, σφαγεία, πετροχημικές εγκαταστάσεις, μονάδες κομποστοποίησης κλπ, ενώ οι βιογενείς ΠΟΕ προέρχονται από τη φυσική βλάστηση, τα φυτά, τα δέντρα, τα ζώα άλλα και από τους διάφορους μικροοργανισμούς (Brancher et al., 2017).

Επιπρόσθετα, οι ΠΟΕ διακρίνονται σε υποκατηγορίες που βασίζονται στην ευκολία με την οποία μια πτητική οργανική ένωση περνά από τη στερεή ή την υγρή φάση στην αέρια φάση. ΠΟΕ με σημείο βρασμού μεταξύ 1°C και 50–100 °C περιγράφονται ως πολύ πτητικές οργανικές ενώσεις (VVOCs). Αντίστοιχα, ενώσεις με σημείο βρασμού που ξεκινά από τους 50–100°C και φτάνει μέχρι τους 240–260°C χαρακτηρίζονται ως πτητικές (VOCs), ενώ ενώσεις με σημείο βρασμού από 240–260 °C έως τους 380–400°C ονομάζονται ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις (SVOCs) (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Ταξινόμηση Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (United States Environmental Protection Agency, 2017).

Περιγραφή	Εύρος σημείου βρασμού (°C)	Παραδείγματα ενώσεων
Πολύ πτητικές οργανικές ενώσεις	<0 μέχρι 50–100	Προπάνιο, βουτάνιο, χλωριούχο μεθύλιο
Πτητικές οργανικές ενώσεις	50–100 μέχρι 240–260	Φορμαλδεΰδη, d-λιμονένιο, τολουόλιο ακετόνη, αιθανόλη (αιθυλική αλκοόλη), εξανάλη

Ημι-πτητικές οργανικές ενώσεις	240–260 μέχρι 380–400	Φυτοφάρμακα, πλαστικοποιητές επιβραδυντικά πυρκαγιάς (PCBs, PBB)	(DDT, χλωρδάνη) (φθαλικές ενώσεις),
--------------------------------------	--------------------------	--	--

Όσο μεγαλύτερη είναι η πτητικότητα (χαμηλότερο σημείο βρασμού) μιας οργανικής ένωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα της να εκπέμπεται από ένα υλικό ή από μια επιφάνεια στην ατμόσφαιρα. Οι πολύ πτητικές οργανικές ενώσεις είναι τόσο πτητικές που είναι δύσκολο να μετρηθούν και βρίσκονται εξ ολοκλήρου ως αέρια στην ατμόσφαιρα, απουσιάζοντας από υλικά και επιφάνειες.

2.2 Επιπτώσεις των ΠΟΕ στο Περιβάλλον και στην Υγεία του Ανθρώπου

Η συνεχής παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων αποτελεί ολοένα και μεγαλύτερο παγκόσμιο πρόβλημα. Λόγο της υψηλής διάσπασης τους και της περιεκτικότητας τους σε υγρασία, οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιορίζουν τη διάθεση τους διαμέσου της υγειονομικής ταφής και της αποτέφρωσης. Αντίθετα, οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας επωφελούνται από αυτές τους τις ιδιότητες, δηλαδή της μεθανοποίησης και της κομποστοποίησης (Blazy et al., 2014).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτεί τη μείωση των εκπομπών των αερίων που εκλύονται από τις διεργασίες της κομποστοποίησης καθώς αυτές επιδρούν αρνητικά, τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρωπινή υγεία. Το μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου είναι αέρια που συμβάλουν στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Αντίστοιχα οι εκπομπές της αμμωνίας είναι υπεύθυνες για την όξινη βροχή και τον ευτροφισμό (Colon et al., 2010). Η αμμωνία, το υδρόθειο και μερικές ΠΟΕ μπορούν επίσης να επηρεάσουν την υγεία των ανθρώπων που δουλεύουν στις μονάδες κομποστοποίησης. Τέλος, οι εκπομπές από τις διεργασίες της

κομποστοποίησης, παράγουν οσμές που προκαλούν ενοχλήσεις στους πολίτες των οποίων τα σπίτια συνορεύουν με αυτές τις μονάδες (Blazy et al., 2014).

Οι ΠΟΕ θεωρούνται ως σημαντικοί ατμοσφαιρικοί ρυπαντές λόγω των επικινδύνων, δύσοσμων και ενεργών ιδιοτήτων τους. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλούν οι φωτοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη τροπόσφαιρα, με επακόλουθο την παράγωγη δευτερογενών ατμοσφαιρικών ρύπων συμπεριλαμβανόμενων των νιτρικών υπεροξυακετυλίων (PANs) και του τροποσφαιρικού όζοντος (O₃), κοινώς αναφερόμενο ως "καφέ" ή "φωτοχημικό νέφος" (Büyüksönmez and Evans, 2007).

Ενώ η κομποστοποίηση είναι μια από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους διαχείρισης διαφόρων ειδών αστικών αποβλήτων, είναι πάντοτε συνδεδεμένη με δυσάρεστες οσμές και εκπομπή ΠΟΕ. Παρόλο που οι ενώσεις αυτές βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, εντούτοις είναι δύσοσμες με αποτέλεσμα οι οσμές αυτές να επιδρούν αρνητικά σε παρακείμενους πληθυσμούς (Gutierrez et al., 2014). Επιπροσθέτως της ενόχλησης που προκαλείται στους παρακείμενους πληθυσμούς από τις δυσάρεστες οσμές, οι εκπομπές των ΠΟΕ που εκλύονται από τα Αστικά Στέρεα Απόβλητα πιθανόν να μπορούν να προκαλούν δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία εξαιτίας της τοξικότητας τους αλλά και της διάβρωσης που προκαλούν στον εξοπλισμό επεξεργασίας των αποβλήτων (Capelli et al., 2008).

Συμφώνα με τους Delgado-Rodriguez et al. (2013), οσμές μπορούν να δημιουργηθούν σε διάφορα στάδια της διαδικασίας κομποστοποίησης: λήψη, μεταφορά, ανάδευση, κομποστοποίηση, ωρίμανση ή αποθήκευση. Ωστόσο οι σημαντικότερες εκπομπές των οσμών άλλα και των ΠΟΕ, απαντώνται κατά το στάδιο της λήψης του υλικού κομποστοποίησης και κατά τα αρχικά στάδια επεξεργασίας, στους σωρούς κομποστοποίησης της αερόβιας βιολογικής διεργασίας. Ο ατελής ή ανεπαρκής εξαερισμός μπορεί να παράξει ενώσεις του θείου με έντονη οσμή, ενώ η ατελής διαδικασία της αερόβιας αποδόμησης έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή αλκοολών, κετονών, εστέρων και οργανικών οξέων (Cadena et al., 2009). Η χημική σύνθεση των εκπεμπόμενων οσμών εξαρτάται

από το είδος των απόβλητων, το επίπεδο αποσύνθεσης τους καθώς και από το τύπο χειρισμού το κομπόστ. Η κομποστοποίηση μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρήση διαφορετικών πρώτων υλών όπως των Αστικών Στέρεων Απόβλητων, απορριμμάτων πουλερικών, λάσπη λυμάτων και πράσινων απόβλητων (Gutierrez et al., 2014).

Η κομποστοποίηση ενώ προσφέρει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για τις ροές των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων με αύξηση της προστιθεμένης αξίας του εμπορεύσιμου τελικού προϊόντος, είναι γνωστό ότι εκλύει στην ατμόσφαιρα σημαντικές ποσότητες πτητικών και ημιπτητικών οργανικών ενώσεων. Ανάλογα με την υπό επεξεργασία πρώτη υλη και τις διεργασίες κομποστοποίησης, εκπέμπεται ένα ευρύ φάσμα ΠΟΕ. Η κομποστοποίηση πράσινων απορριμμάτων προκαλεί κυρίως τις εκπομπές τερπενίων (ενώσεις που απελευθερώνονται από το πρωτογενές υλικό) και σε μικρότερο βαθμό, αλκοόλες, κετόνες και τα παράγωγα του βενζολίου ως αποτέλεσμα της βιολογικής αποδόμησης, ενώ τα οργανικά οξέα, οι αλκοόλες και τα σουλφίδια είναι οι κυριότερες εκπεμπόμενες ενώσεις από τη κομποστοποίηση στερεών οικιακών απορριμμάτων (Statheropoulos, Agariou and Pallis, 2005).

Ορισμένες ΠΟΕ που εκπέμπονται από τους χώρους υγειονομικής ταφής (όπως οι βενζολικές ενώσεις, χλωριούχο βινίλιο), είναι δυνητικά μεταλλαξιογόνες ή καρκινογόνες για τους υπαλλήλους που εργάζονται στους χώρους υγειονομικής ταφής, καθώς και για τους πολίτες που διαμένουν κοντά στους χώρους αυτούς (Statheropoulos, Agariou and Pallis, 2005).

Η σύσταση των ΠΟΕ που εκπέμπονται από τους χώρους υγειονομικής ταφής έχει μελετηθεί ευρέως, λόγω του τοξικολογικού τους χαρακτήρα, καθώς και των επιπτώσεων που προκαλούν στο περιβάλλον (δυσάρεστες οσμές, κακή ποιότητα αέρα, προβλήματα υγείας). Οι ενώσεις αυτές περιλαμβάνουν αρκετούς υδρογονάνθρακες, αρωματικές ενώσεις, οξυγονωμένες, χλωριωμένες καθώς επίσης και θειούχες ενώσεις. Οι εργάτες συλλογής των απορριμμάτων, παρουσιάζουν ερεθισμούς στη μύτη, ναυτία, χρόνια βρογχίτιδα και γαστρεντερικά προβλήματα (Statheropoulos, Agariou and Pallis, 2005)

2.3 Παραγόμενες ΠΟΕ από Διαφόρους Τύπους Κομποστοποίησης

Τα αποτελέσματα της ταυτοποίησης των κυριότερων ΠΟΕ που βρεθήκαν σε προηγούμενες αναφορές παρουσιάζονται στο **Πίνακα 2.3.1**. Οι ενώσεις αυτές ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο του προσροφητικού υλικού που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Εκατοντάδες ΠΟΕ μπορούν να εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βιοαποικοδόμησης του οργανικού κλάσματος των αστικών απόβλητων από τις μονάδες κομποστοποίησης (Müller et al., 2004).

Βάση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στο **Πίνακα 2.3.1**, οι πιο κοινές ΠΟΕ που εκπέμπονται από τις διεργασίες κομποστοποίησης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων είναι τα αλκένια, τερπένια, αλκοόλες, οξέα, εστέρες οξέων, κετόνες και αρωματικές ενώσεις. Γενικά οι περισσότερες από αυτές τις ενώσεις θεωρούνται βιογενούς προέλευσης. Τα αλκένια απαντώνται συχνά στη κομποστοποίηση. Ωστόσο, αυτές οι ενώσεις ανιχνευτήκαν σε μεικτά οικιακά απόβλητα και όχι σε οργανικά απόβλητα (Wilkins, 1994). Επίσης πολλά παράγωγα του βενζολίου ανιχνευτήκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις στον περιβάλλοντα αέρα των μονάδων κομποστοποίησης Αστικών Στερεών Αποβλήτων. Τα τερπένια και οι κετόνες που ανιχνευτήκαν σε μονάδες κομποστοποίησης, συνήθως συσχετίζονται με την αποσύνθεση αποβλήτων κλαδεμάτων – γρασιδιού. Τα παράγωγα του θείου μπορεί να είναι αποτέλεσμα τόσο βιολογικών (αποσύνθεση των πρωτεϊνών) όσο και μη βιολογικών αντιδράσεων (Delgado-Rodriguez et al., 2012).

Ανάμεσα στις πιο διαδεδομένα ανιχνεύσιμες ΠΟΕ είναι: η ακετόνη, το βενζόλιο, η βουτανόνη, το βουτένιο, το δεκάνιο, το αιθυλοβενζόλιο, το εντεκάνιο, το λιμονένιο, το μεθυλοβενζόλιο, το μεθυλοσουλφίδιο, το ναφθαλένιο, το ξυλένιο,

το οξικό οξύ, ο οξικός αιθυλεστέρας, το πινένιο (α -, β -), το προπυλοβενζένιο, το στυρέμιο, το τετραχλωροαιθέριο, το τολουόλιο, το υδρόθειο και οι φαινολικές ενώσεις (Delgado-Rodriguez et al., 2012).

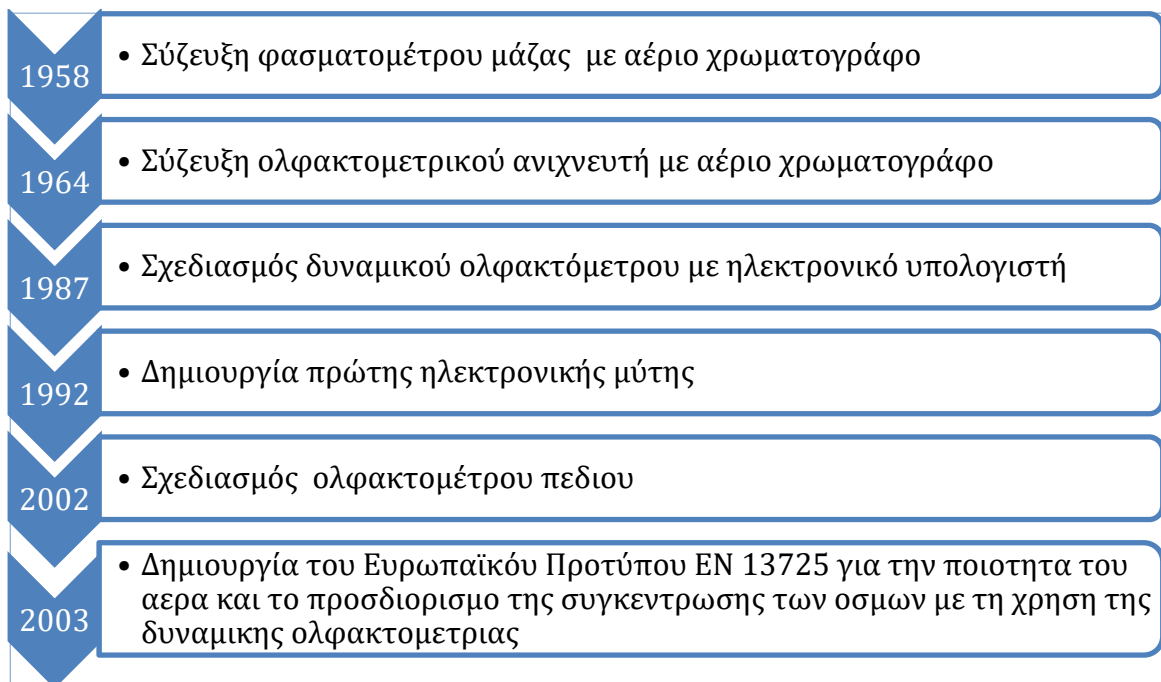
Πίνακας 2.3.1: Κοινές ΠΟΕ που σχετίζονται με τη κομποστοποίηση Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Komilis et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009; Delgado-Rodriguez et al., 2012).

Ουσία	Όργανο	Βιβλιογραφία
Ακετόνη	GC-MS	Müller et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Βενζόλιο	GC-MS	Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Βουτανόνη	GC-MS	Müller et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008
Βουτένιο	GC-MS	Müller et al., 2004; Komilis et al., 2004; Liu et al., 2009
Δεκάνιο	GC-MS	Müller et al., 2004
Αιθυλοβενζόλιο	GC-MS	Müller et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Εντεκάνιο	GC-MS	Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009;
Λιμονένιο	GC-MS	Müller et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008
Μεθυλοβενζόλιο	GC-MS	Müller et al., 2004; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Μεθυλοσουλφίδιο	GC-MS	Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Ναφθαλένιο	GC-MS	Komilis et al., 2004; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Ξυλένιο	GC-MS	Komilis et al., 2004; Mao et al., 2006; Liu et al., 2009

Οξικό οξύ	GC-MS	Müller et al., 2004; Tsai et al., 2008
Οξικός αιθυλεστέρας	GC-MS	Müller et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Πινένιο (α-, β-)	GC-MS	Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008; Liu et al., 2009
Προπυλοβενζένιο	GC-MS	Komilis et al., 2004; Liu et al., 2009
Στυρένιο	GC-MS	Komilis et al., 2004; Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008
Τετραχλωροαιθέριο	GC-MS	Liu et al., 2009
Τολουόλιο	GC-MS	Müller et al., 2004; Liu et al., 2009
Υδρόθειο	GC-MS	Liu et al., 2009
Φαινολικές ενώσεις	GC-MS	Mao et al., 2006; Tsai et al., 2008

2.4 Μεθόδους Ανάλυσης ΠΟΕ

Τις τελευταίες δεκαετίες πρόεκυψαν μια σειρά από νέες τεχνικές ανίχνευσης καθώς και λύσεις ως προς την επεξεργασία των δεδομένων, οι οποίες έχουν τεραστία επίδραση στην ανάπτυξη της έρευνας στο τομέα της μέτρησης αέριων ατμοσφαιρικών ρύπων. Αυτή η πρόοδος σχετίζεται επίσης με τις νομικές πτυχές που καθορίζουν τη μέθοδο διεξαγωγής της έρευνας. Το **Γράφημα 2.4.1** παρουσιάζει τα λεγόμενα ορόσημα, που σχετίζονται με την ανάπτυξη της γνώσης και της τεχνολογίας των μετρήσεων της εντάσεως της οσμής και την ανάπτυξη της νομοθεσίας που άφορα της οσφρητικές μετρήσεις (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).



Γράφημα 2.4.1: Τα ορόσημα που σχετίζονται με την ανάπτυξη της γνώσης και της τεχνολογίας των μετρήσεων της έντασης της οσμής και την ανάπτυξη της νομοθεσίας που αφορά τις οσφρητικές μετρήσεις (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

Λαμβάνοντας υπόψη τη γενική ταξινόμηση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της έντασης των δυσάρεστων οσμών, οι τεχνικές αυτές μπορούν να διακριθούν σε: Α) αισθητήριακες και Β) αναλυτικές τεχνικές.

Α) Αισθητήριακες τεχνικές

Οι αισθητηριακές τεχνικές, συμπεριλαμβανομένου της δυναμικής ολφακτομετρίας (που είναι και η πιο διαδεδομένη) επιτρέπουν τον προσδιορισμό: της συγκέντρωσης μιας οσμής σε ένα συγκεκριμένο δείγμα, την ένταση της οσμής καθώς και το βαθμό αποδοχής της. Στη περίπτωση των τεχνικών αυτών, η μύτη του ανθρώπου παίζει το ρόλο του αισθητήρα μέτρησης (Munoz et al. 2010; Guillot et al. 2012).

Οι αισθητηριακές τεχνικές επιτρέπουν την αξιολόγηση των οσμών τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά χρησιμοποιώντας την ανθρώπινη μύτη ως ανιχνευτή. Σε αντίθεση με τις αναλυτικές μεθόδους, οι αισθητηριακές τεχνικές παρουσιάζουν μικρότερη ακρίβεια και επαναληψιμότητα λόγω της

υποκειμενικής φύσης των αποτελεσμάτων που πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή (Munoz et al., 2010).

B) Αναλυτικές τεχνικές

Αν συμβεί μια μικρή μεταβολή στην εκπομπή της οσμής από μια και μόνο ουσία, αυτό θα έχει τεραστία επίδραση στις συνολικές εκπομπές που προκύπτουν από τις δραστηριότητες μιας συγκεκριμένης εγκατάστασης. Οι αναλυτικές τεχνικές επιτρέπουν τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των επιμέρους συστατικών ενός οσμηρού δείγματος (Nagaraj and Sattler, 2005). Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για τη ταυτοποίηση και τη ποσοτική ανάλυση των δύσοσμων χημικών ενώσεων που εκπέμπονται στο περιβάλλον. Βασίζονται στο χαρακτηρισμό ενός συγκεκριμένου δείγματος με ακριβή προσδιορισμό της χημικής του σύστασης (Brattoli et al., 2011) και διακρίνονται από υψηλή επαναληψιμότητα, αντικειμενικότητα και ακρίβεια (Zarra et al., 2009). Το **Γράφημα 2.4.2** απεικονίζει μια ταξινόμηση των σημαντικότερων τεχνικών ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα σε σχέση με την ένταση της οσμής.



Γράφημα 2.4.2: Απεικόνιση της ταξινόμησης των σημαντικότερων τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα σε σχέση με την ένταση της οσμής (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

2.4.1 Δυναμική Ολφακτομετρία

Η δυναμική ολφακτομετρία είναι μια τυποποιημένη τεχνική μέτρησης. Προτιμάται και χρησιμοποιείται ευρέως στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μεμονωμένων ουσιών που περιέχονται σε οσμηρά αέρια μείγματα που εκπέμπονται στο περιβάλλον από διάφορες πηγές, όπως για παράδειγμα από τις μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

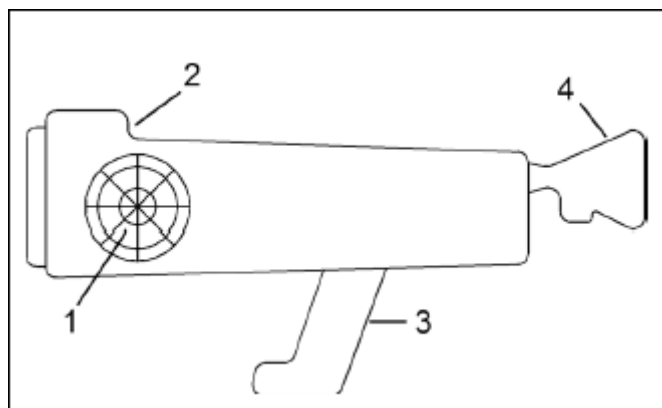
2.4.2 Ολφακτομετρία Πεδίου

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των οσμηρών ουσιών που απελευθερώνονται στο περιβάλλον συμπεριλαμβανόμενου των ολφακτόμετρων πεδίου, επιτρέπουν τον επιτόπιο έλεγχο της συγκέντρωσης των οσμηρών ουσιών καθώς και των εκπομπών τους. Οι συσκευές αυτές είναι φορητές, με επακόλουθο τα αποτελέσματα των δοκιμών να μπορούν να ληφθούν σε πραγματικό χρόνο, ενώ μια ομάδα αξιολόγησης προσδιορίζει την οσμή των ουσιών στα προς ανάλυση δείγματα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών πεδίου επιτρέπουν τον προσδιορισμό των πηγών των οσμών, όπως επίσης και στην εκτίμηση των συνολικών εκπομπών των οσμών σε ένα δεδομένο σημείο μέτρησης (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

Η περιβαλλοντική ολφακτομετρία χρησιμοποιείται επίσης για την εκτίμηση του βαθμού επιβάρυνσης, της συχνότητας εμφάνισης και της επίδρασης των οσμών στην άνεση της ζωής των κατοίκων σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Η χρήση των ολφακτομετρικών τεχνικών συνδέεται με την ανάγκη της ύπαρξης μιας έμπειρης ομάδας ατόμων (Both et al. 2004).

Το ολφακτόμετρο πεδίου παρουσιάζεται στο **Γράφημα 2.4.2.1**. Αυτός ο τύπος συσκευής είναι ένα είδος μάσκας αερίου, εξοπλισμένο με ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα. Στην αρχή ο εκτιμητής εισπνέει καθαρό αέρα, καθαρισμένο από ένα φίλτρο και μετά από ένα λεπτό αυξάνει σταδιακά το μερίδιο του αέρα που συλλέγεται από το περιβάλλον, παρακάμπτοντας το φίλτρο του ενεργού

άνθρακα. Ο σκοπός των δοκιμών είναι να προσδιοριστεί η αριθμητική τιμή της παραμέτρου αραίωσης/κατώτερου ορίου ανίχνευσης στην οποία η οσμή του μείγματος των αερίων μπορεί να ανιχνευτεί από τον εκτιμητή.



Γράφημα 2.4.2.1: Σχηματική απεικόνιση ολφακτόμετρου πεδίου: 1) φίλτρο ενεργού άνθρακα, 2) ηλεκτρονική απεικόνιση αποτελεσμάτων μέτρησης, 3) λαβή, 4) μάσκα στόματος και μύτης (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

2.5 Αέρια Χρωματογραφία

Η χρωματογραφία είναι ουσιαστικά μια μέθοδος διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός στηρίζεται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών του μίγματος σε ένα σύστημα κινητής και ακίνητης φάσης. Αποτέλεσμα αυτού είναι άλλα συστατικά του δείγματος να κατακρατούνται περισσότερο και άλλα λιγότερο χρόνο στο χρωματογραφικό σύστημα. Η πρώτη μορφή χρωματογραφίας εισήχθη από το Ρώσο βοτανολόγο Tswett το 1906 και ήταν μια μορφή υγρής χρωματογραφίας σε στήλη. Ο Tswett χρησιμοποίησε ως υλικό πληρώσεως (ακίνητη φάση) ανθρακικό ασβέστιο σε μορφή σκόνης και στη κορυφή της στήλης πρόσθεσε πετρελαϊκό αιθέρα (κινητή φάση). Το δείγμα των χρωστικών που μελέτησε, δημιούργησε κατά την έκλυση του έγχρωμες ζώνες κατά μήκος της στήλης. Αυτός είναι ο λόγος που η μέθοδος ονομάστηκε χρωματογραφία.

Σήμερα με τον όρο χρωματογραφία εννοούμε ένα πλήθος τεχνικών διαχωρισμού που βασίζονται στη διαφορετική κατανομή των συστατικών του υπό διαχωρισμό

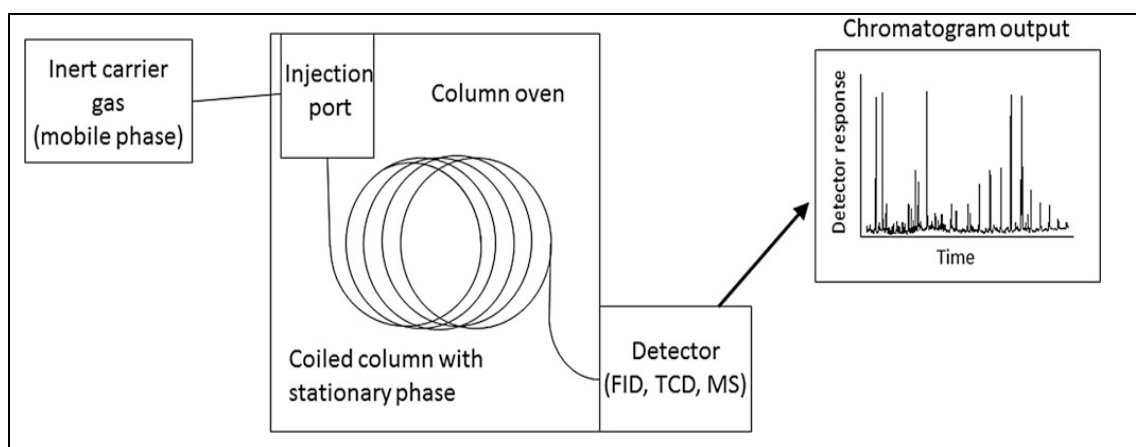
μίγματος μεταξύ μιας κινητής φάσης και μιας στατικής. Ανάλογα της κινητής φάσης η χρωματογραφία διακρίνεται:

- σε αέρια χρωματογραφία (Gas Chromatography, GC), εάν η κινητή φάση είναι αέρια
- την υγρή χρωματογραφία (Liquid Chromatography, LC), εάν η κινητή φάση είναι υγρή
- και την υπερκρίσιμη ρευστή χρωματογραφία (Supercritical Fluid Chromatography, SFC) εάν η κινητή φάση είναι αέρια σε υπερκρίσιμη κατάσταση π.χ. CO₂ στους 50 °C και πίεση μεγαλύτερη από 15 MPa.

Όσον αφορά τη στατική φάση, αυτή μπορεί να είναι στερεό (S) ή υγρό (L) μηχανικά ή χημικά προσδεμένο σε ένα στερεό υπόστρωμα. Με αυτό τον τρόπο, προκύπτουν ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της υγρής και αέριας φάσης η αέρια-υγρή χρωματογραφία (GLC) ή η υγρή - στερεή χρωματογραφία (LSC).

Προφανώς, οι χρωματογραφικές μεθοδοί θα πρέπει να συνδυαστούν με συστήματα ανίχνευσης των εκλουόμενων συστατικών όπως για παράδειγμα φασματόμετρα, για την ολοκλήρωσή τους, ως τεχνικές αναλύσεις.

Τη δεκαετία του 1940 οι Βρετανοί μηχανικοί Martin και Synge, έθεσαν τις θεωρητικές βάσεις για την ανάπτυξη της χρωματογραφίας. Παράλληλα, εισήγαγαν την αέρια χρωματογραφία (GC) που είχε μεγάλη απήχηση κυρίως λόγω του ελαχίστου χρόνου που απαιτείται για τον διαχωρισμό πολύπλοκων μιγμάτων. Στο παρακάτω **Γράφημα 2.5.1**, απεικονίζεται ένας αέριος χρωματογράφος με τους αντίστοιχους ανιχνευτές.



Γράφημα 2.5.1: Σχηματική απεικόνιση αέριου χρωματογράφου με τους αντίστοιχους ανιχνευτές FID, TCD, MS.

➤ **Χρωματογραφική Στήλη/Στατική φάση**

Το βασικότερο τμήμα μιας χρωματογραφικής διάταξης είναι η χρωματογραφική στήλη, η οποία μπορεί να είναι πληρωμένη (packed) ή τριχοειδής (capillary). Οι πληρωμένες στήλες έχουν διάμετρο 3–6 mm και μήκος 1–3 μέτρα και περιέχουν ένα στερεό υπόστρωμα διαποτισμένο με κατάλληλο υγρό που αποτελεί την υγρή στατική φάση.

Οι τριχοειδείς στήλες WCOT (Wall Coated Open Tubular) έχουν την υγρή στατική φάση υπό μορφή λεπτού υμένα πάχους 1–3 μm, απευθείας τοποθετημένη στο εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα. Οι τριχοειδείς στήλες SCOT (Support Coated Open Tubular) έχουν την υγρή στατική φάση εμποτισμένη σε υπόστρωμα που καλύπτει την εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα. Οι μικροστήλες PLOT (Porous Layer Open Tubular) φέρουν τη στερεή στατική φάση ένα προσροφητικό υλικό στην εσωτερική επιφάνεια του τριχοειδούς σωλήνα. Η εσωτερική διάμετρος των τριχοειδών στηλών είναι 0,1–0,5 mm και το μήκος τους κυμαίνεται από 15 έως 100 μέτρα. Οι τριχοειδείς στήλες έχουν πολύ μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε σχέση με τις πληρωμένες στήλες, για αυτό και οι πληρωμένες στήλες έχουν περιορισμένη χρήση σήμερα. Αντίθετα, οι τριχοειδείς έχουν πολλές εφαρμογές, ιδιαίτερα για αναλύσεις πολύπλοκων μιγμάτων. Στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί αναλύσεις καπνού με περίπου 1000 συστατικά. Τέτοιες αναλύσεις είναι ανέφικτες με οποιαδήποτε άλλη τεχνική ανάλυσης.

➤ **Η κινητή φάση**

Το φέρον αέριο (κινητή φάση) θα πρέπει να είναι αδρανές έναντι της στατικής φάσης και του αναλυόμενου δείγματος. Είναι συνήθως He, N₂ ή Ar. Η φύση του φέροντος αέριου δεν επηρεάζει το χρόνο συγκράτησης των συστατικών του δείγματος στη στήλη και επιλέγεται κυρίως με βάση τον τύπο του χρησιμοποιούμενου ανιχνευτή.

➤ **Εισαγωγή δείγματος**

Η εισαγωγή του δείγματος γίνεται στην αρχή της στήλης γίνεται με μικροσύριγγα μέσω ενός ελαστικού διαφράγματος (septum) ή μέσω ενός ειδικού συστήματος περιστρεφόμενης βαλβίδας με βρόχο (sampling valve). Ο χώρος εισαγωγής του δείγματος θερμαίνεται σε θερμοκρασίες συνήθως υψηλότερες από τη θερμοκρασία της στήλης, ώστε να διασφαλιστεί η πλήρης εξαέρωση του δείγματος.

➤ **Θερμοστάτιση στήλης**

Η θερμοστάτιση της στήλης επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία διαχωρισμού. Για αυτό η θερμοκρασία της στήλης ελέγχεται με μεγάλη ακρίβεια κατά τη διάρκεια ολόκληρης της χρωματογραφικής ανάλυσης. Η στήλη είτε διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία (ισόθερμη χρωματογραφία), είτε μεταβάλλεται με καθορισμένο πρόγραμμα (θερμοπρογραμματιζόμενη χρωματογραφία).

➤ **Ανιχνευτής**

Ο ανιχνευτής κάνει φανερή την παρουσία των συστατικών του δείγματος στην έξοδο της χρωματογραφικής στήλης προσδιορίζοντας τη συγκέντρωσή τους στο φέρον αέριο. Οι πιο διαδεδομένοι ανιχνευτές της αέριας χρωματογραφίας είναι:

A) ο ανιχνευτής ιονισμού φλόγας (Flame Ionization Detector, FID),

B) ο ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Detector, TCD),

Γ) ο ανιχνευτής φωτιοϊονισμού (Photoionisation Detector, PID),

Δ) το φασματόμετρο μάζας (Mass Spectrometer, MS).

A) **Ανιχνευτής ιονισμού φλόγας (Flame Ionization Detector, FID)**

Η αρχή της ανίχνευσης του στηρίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των αερίων ιονισμού μιας φλόγας υδρογόνου που βρίσκεται σε ηλεκτρικό πεδίο όταν οι οργανικές ενώσεις (προϊόντα έκλυσης της στήλης) τροφοδοτήσουν τη φλόγα. Η αύξηση αυτής της αγωγιμότητας οφείλεται στον ιονισμό που προκαλείται στην οργανική ουσία και η οποία οδηγεί σε σημαντική αύξηση ρεύματος, η οποία καταγράφεται ως σήμα του ανιχνευτή.

B) Ανιχνευτής θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Detector, TCD)

Στον ανιχνευτή αυτό, δυο ζεύγη αντιστάσεων (θερμαινόμενα νήματα) διατάσσονται σε γέφυρα Wheatstone. Το ένα ζεύγος αντιστάσεων περιβάλλεται από το φέρον αέριο (κυψελίδα αναφοράς), ενώ το άλλο ζεύγος από το αέριο έκλουσης του GC (κυψελίδα μέτρησης). Το σύστημα αυτό των αντιστάσεων βρίσκεται σε ισορροπία όταν η κυψελίδα αναφοράς και μέτρησης διαρρέονται από το φέρον αέριο. Όμως με την είσοδο της εκκλούμενης ουσίας στη κυψελίδα μέτρησης του ανιχνευτή, η θερμική αγωγιμότητα του αερίου μειώνεται, οπότε οι αντιστάσεις μέτρησης αυξάνονται. Έτσι διαταράσσεται η ισορροπία της γέφυρας Wheatstone. Το ρεύμα που απαιτείται για την αποκατάσταση της ισορροπίας αποτελεί το σήμα του ανιχνευτή.

Γ) Ανιχνευτής φωτοϊονισμού (Photoionisation Detector, PID)

Η λειτουργία του ανιχνευτή φωτοϊονισμού (Photoionisation Detector, PID) μοιάζει με αυτή του ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID) με τη διαφορά ότι ο ιονισμός του δείγματος επιτυγχάνεται με UV ακτινοβολία.

Δ) Φασματόμετρο μάζας (Mass Spectrometer, MS)

Αρκετοί κατασκευαστές οργάνων προσφέρουν αερίου χρωματογράφους, που μπορούν να συζευχθούν άμεσα με φασματόμετρα μαζών (MS) ταχείας σάρωσης. Η αρχή λειτουργίας της φασματομετρίας μαζών στηρίζεται στη δημιουργία ιόντων (κυρίως θετικών) μιας ένωσης, το διαχωρισμό τους με βάση το λόγο της μάζας προς φορτίο (m/z) και την καταγραφή τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μοριακό βάρος της ένωσης και ο τρόπος σύνδεσης των διαφόρων ομάδων μεταξύ τους.

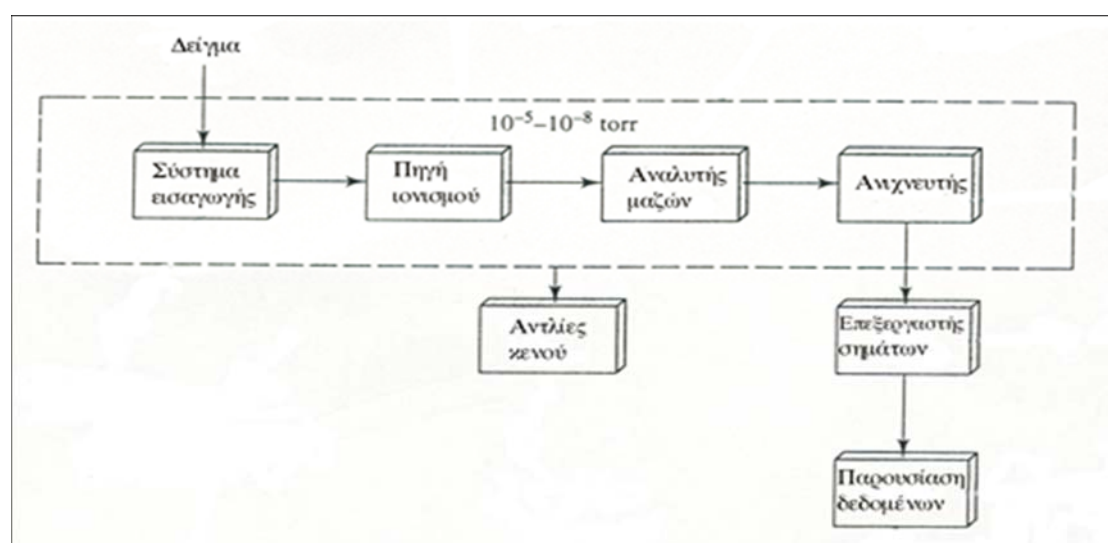
Αρχές Λειτουργίας - Οργανολογία του Φασματογράφου μάζας (MS)

Η φασματομετρία μάζας (MS) είναι μια δημοφιλής αναλυτική τεχνική η οποία έχει προσφέρει πολλά στο χώρο της ενόργανης χημικής ανάλυσης, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με την αέρια χρωματογραφία (GC-MS). Επιπλέον, βρίσκει εφαρμογή στην ανάλυση ανόργανων ενώσεων καθώς και σε αναλύσεις επιφάνειας (surface analysis).

Η βασική οργανολογία ενός φασματομέτρου μάζας, όπως φαίνεται στο **Γράφημα 2.5.2**, περιλαμβάνει τα έξης τμήματα:

1. Εισαγωγή του δείγματος
2. Παράγωγή ιόντων (σύστημα ιονισμού)
3. Επιτάχυνση ιόντων από ηλεκτρικό πεδίο
4. Διαχωρισμό ιόντων ανάλογα με τη μάζα τους (αναλυτής μαζών)
5. Ανιχνευτής ιόντων
6. Επεξεργασία δεδομένων με ηλεκτρικό υπολογιστή.

Να σημειωθεί ότι το σύστημα βρίσκεται υπό κενό.



Γράφημα 2.5.2: Διαγραμματική απεικόνιση της βασικής διάταξης ενός MS.

1. Σύστημα εισαγωγής δείγματος

Σκοπός του συστήματος εισαγωγής είναι η προετοιμασία του δείγματος ώστε αυτό να εισαχθεί στο χώρο ιονισμού σε αέρια κατάσταση και υπό συνθήκες σταθερής ροής. Η εξαέρωση των στερεών ή υγρών δειγμάτων επιτυγχάνεται με θέρμανση υπό κενό. Στις συνδυασμένες τεχνικές όπως το GC-MS, το χρωματογραφικό σύστημα αποτελεί κατά κάποιο τρόπο το σύστημα εισαγωγής του δείγματος.

2. Σύστημα ιονισμού

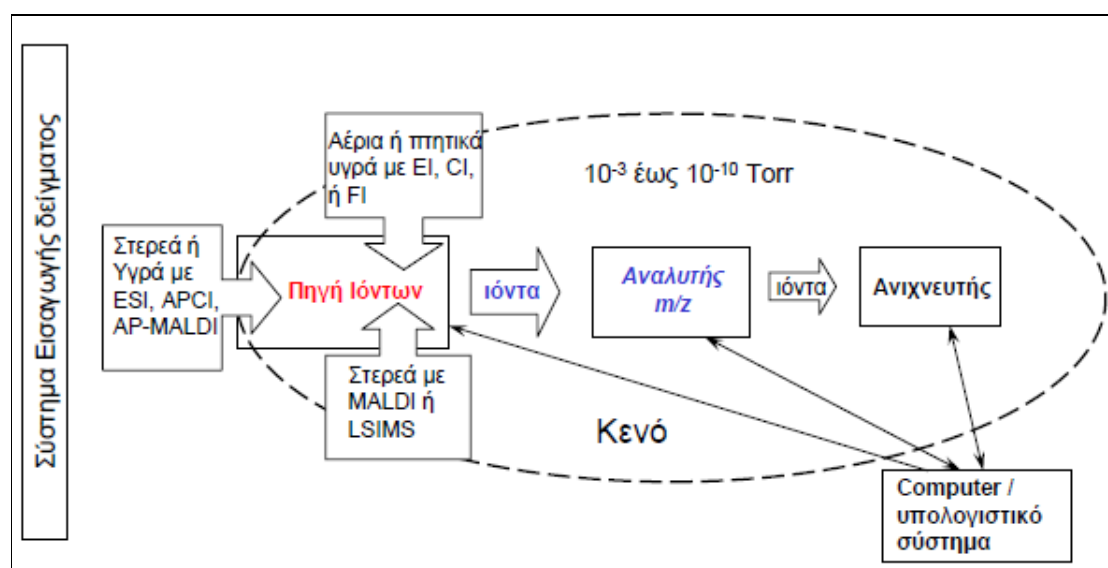
Τα μόρια του δείγματος που εισάγονται στο σύστημα ιονισμού θρυμματίζονται σε ιόντα με διάφορες τεχνικές:

α) Ιονισμός με ηλεκτρόνια (Electron ionization, EI)

Ο ιονισμός επιτυγχάνεται συνήθως με πρόσκρουση ηλεκτρονίων. Το δείγμα βομβαρδίζεται με δέσμη ηλεκτρονίων μεγάλης κινητικής ενεργείας. Τα ηλεκτρόνια συγκρουόμενα με τα μόρια της ένωσης M παράγουν ιόντα.

Έκτος από το σχηματισμό του μοριακού ιόντος, η μεγάλη ενεργεία των ηλεκτρονίων βομβαρδισμού φέρνει αποτελέσματα ανάλογα με αυτά των βομβαρδισμών, δηλαδή την αποικοδόμηση των μορίων σε θραύσματα πολλά από τα οποία έχουν μορφή κατιόντων.

Τα κατιόντα στη συνέχεια επιταχύνονται με τη βοήθεια ηλεκτροδίων επιτάχυνσης, όπως φαίνονται στο **Γράφημα 2.5.3** των οποίων η διαφορά δυναμικού είναι μεταξύ μερικών εκατοντάδων και μερικών χιλιάδων Volts.



Γράφημα 2.5.3: Σχηματική παρουσίαση συστήματος ιονισμού με δέσμη ηλεκτρονίων.

β) Χημικός ιονισμός (Chemical Ionization, CI)

Ο χημικός ιονισμός προκαλείται από ένα αέριο, το οποίο δημιουργεί ήπιες συνθήκες ιονισμού σε σχέση με τον ιονισμό με πρόσκρουση ηλεκτρονίων. Το αέριο αυτό (συνήθως μεθάνιο ή αμμωνία) εισάγεται στη πηγή ιονισμού σε μεγάλες συγκεντρώσεις και υπό σχετικά υψηλή πίεση. Σε πρώτο στάδιο, το αέριο ιονίζεται και στη συνέχεια προσλαμβάνει ένα πρωτόνιο σχηματίζοντας το αντιδραστήριο αέριο υπό μορφή μοριακού ιόντος. Ο χημικός ιονισμός είναι

ηπιότερος τρόπος ιονισμού ενός μορίου σε σχέση με τον ιονισμό με ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να δημιουργούνται λιγότερα θραύσματα γεγονός, που κάνει τα φάσματα μάζας από χημικό ιονισμό να είναι απλούστερα αυτών με πρόσκρουση ηλεκτρονίων.

3. Αναλυτής μαζών

Στον αναλυτή μαζών διαχωρίζονται τα κατιόντα που παράγονται στο σύστημα ιονισμού ανάλογα με το λόγο μάζα/φορτίο. Η κύρια διαφορά μεταξύ των διαφόρων φασματομέτρων μάζας έγκειται στους αναλυτές μαζών που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των ιόντων. Ο αναλυτής μαζών καθορίζει την ικανότητα του MS να διαχωρίζει (διακρίνει) μάζες.

Οι τύποι αναλυτών που υπάρχουν στα φασματομέτρα μαζών είναι:

α) Μαγνητικός αναλυτής απλής εστίασης

Ο διαχωρισμός με μαγνητική εκτροπή αποτελεί ένα από τους συνηθέστερους τύπους αναλυτή μαζών. Τα ιόντα εισέρχονται σε μαγνητικό πεδίο, η ένταση του οποίου προκαλεί εκτροπή της τροχιάς τους. Τα μικρής μάζας ιόντα εκτρέπονται πολύ, ενώ τα μεγάλης μάζας λίγο.

β) Αναλυτής διπλής εστίασης

Τα ιόντα με τον ίδιο λόγο m/z δεν έχουν την ίδια κινητική ενεργεία κατά την έξοδο τους από τη πηγή ιονισμού, αλλά ακολουθούν μια ενεργειακή κατανομή κατά Boltzmann. Αυτό έχει επίπτωση στην αποτελεσματική εστίαση των μαζών, με συνέπεια οι κορυφές στο φάσμα μάζας να είναι διαπλατυσμένες και η διαχωριστική ικανότητα του αναλυτή απλής εστίασης να είναι χαμηλή.

Η ελάττωση της ενεργειακής διασποράς των ιόντων πριν μπουν στο μαγνητικό πεδίο, επιτυγχάνεται με ένα ηλεκτροστατικό αναλυτή. Αυτός αποτελείται από δυο κυρτές πλάκες μεταξύ των οποίων υπάρχει ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο. Κατά αυτό τον τρόπο, εστιάζονται ιόντα με καθορισμένη κινητική ενέργεια. Αν ο ηλεκτροστατικός αναλυτής τοποθετηθεί μεταξύ της πηγής ιονισμού και του μαγνητικού αναλυτή, προκύπτει ο αναλυτής ιόντων διπλής εστίασης ο οποίος

έχει πολύ μεγάλη διακριτική ικανότητα σε σχέση με τον αναλυτή απλής εστίασης.

γ) Τετραπολικός αναλυτής

Οι τετραπολικοί ανιχνευτές αποτελούνται από τέσσερις παράλληλες μεταλλικές ράβδους (πόλους), που είναι συμμετρικά τοποθετημένες ως προς τη δέσμη ιόντων. Εφαρμόζεται ένα εναλλασσόμενο δυναμικό (AC) στις δυο διαγώνια τοποθετημένες ράβδους και ένα συνεχές δυναμικό (DC) στις άλλες δυο. Κάτω από δεδομένες συνθήκες εφαρμογής τάσεων μόνο ιόντα με ορισμένη τιμή m/z εξέρχονται από το σύστημα. Οι τετραπολικοί αναλυτές μαζών καταγράφουν ιόντα μέχρι m/z 1000 με μικρή διαχωριστική ικανότητα, είναι όμως πολύ συμπαγείς, έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και επιτρέπουν τη λήψη φάσματος σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η τελευταία ιδιότητα τους καθιστά ιδανικούς ανιχνευτές σε χρωματογραφικά συστήματα.

4. Ανιχνευτής ιόντων

Μετά το διαχωρισμό των μαζών ακόλουθη η καταγραφή τους. Κατά αυτό το τρόπο συντίθεται το φάσμα μάζας κάθε μορίου. Ο ανιχνευτής ιόντων παράγει στην έξοδο του ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογο του αριθμού ιόντων που δέχεται στην είσοδο του. Υπάρχουν οι έξι βασικοί τύποι ανιχνευτών: η φωτογραφική πλάκα, το κύπελλο Faraday, ο ηλεκτροπολλαπλασιαστής (electron multiplier) και ο ανιχνευτής σπινθηρισμού (scintillation detector). Από αυτούς τους ανιχνευτές οι δυο πρώτοι σπανίως χρησιμοποιούνται σήμερα, ενώ οι δυο τελευταίοι έχουν ευρύτατη εφαρμογή, κυρίως λόγω της ευαισθησίας τους.

5. Επεξεργασία δεδομένων με ηλεκτρονικό υπολογιστή

Τα σύγχρονα φασματόμετρα μάζας ελέγχουν το μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας τους μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Επίσης στον υπολογιστή καταχωρούνται τα δεδομένα της ανάλυσης για μελλοντική επεξεργασία. Το θέμα αυτό παρουσιάζει τόσο μεγάλο ενδιαφέρον ώστε πολλές εταιρείες κατασκευής οργάνων MS επενδύουν το μεγαλύτερο μέρος του κόστους του οργάνου, στην ανάπτυξη συστημάτων επεξεργασίας δεδομένων. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί

λόγο του τεράστιου αριθμού δεδομένων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας GC-MS ανάλυσης.

Τα φάσματα μάζας παρουσιάζονται συνήθως μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή σε κανονικοποιημένη μορφή. Η κανονικοποιημένη μορφή (normalization), περιλαμβάνει αναγωγή της έντασης του βασικού ιόντος στο 100 ή στο 1000. Οι εντάσεις των υπολοίπων μαζών καθορίζονται με βάση την ένταση της βασικής κορυφής. Επιπλέον με τη κανονικοποιημένη μορφή διευκολύνεται η σύγκριση ενός φάσματος μάζας με αντίστοιχα αποθηκευμένα φάσματα στον υπολογιστή (βιβλιοθήκη φασμάτων). Υπάρχουν διάφορες βιβλιοθήκες φασμάτων που προκύπτουν πάνω από 80000 φάσματα μάζας. Έτσι μέσω ειδικών προγραμμάτων σύγκρισης προσδιορίζεται ο δείκτης ομοιότητας μεταξύ του αγνώστου φάσματος μάζας με τα γνωστά της βιβλιοθήκης, οπότε επιτυγχάνεται η ταυτοποίηση των συστατικών του δείγματος (Λιοδάκης, 2001).

2.5.1 Συνδυασμένη Αέρια Χρωματογραφία με Ολφακτομετρικό Ανιχνευτή (GC-O)

Το σύστημα GC-O επιτρέπει την αισθητηριακή αξιολόγηση των ενώσεων που απελευθερώνονται από τη χρωματογραφική στήλη μαζί με ένα εκλουόμενο ρεύμα. Η ανθρωπινή μύτη παίζει το ρόλο ενός επιπροσθέτου ανιχνευτή. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η ανθρωπινή παρουσία για την εκτίμηση της οσμής, όπως συμβαίνει και στη δυναμική ολφακτομετρία. Για κάθε υπάρχουσα ουσία του αναλυόμενου δείγματος δύναται να εκτελεστεί ταυτόχρονα ποσοτική και ποιοτική ανάλυση (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016). Η **Εικόνα 2.5.1.1** παρουσιάζει την απεικόνιση ενός αέριου χρωματογράφου συνδυασμένου με ολφακτομετρικό ανιχνευτή.



Εικόνα 2.5.1.1: Σχηματική απεικόνιση ενός αέριου χρωματογράφου συνδυασμένου με ολφακτομετρικό ανιχνευτή (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

2.6 Αέρια Χρωματογραφία Συζευγμένη με Φασματόμετρο Μάζας (GC-MS)

Ο αέριος χρωματογράφος συζευγμένος με φασματόμετρο μάζας (GC-MS) χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά σε πειράματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Dincer et al. 2006). Η χρήση της τεχνικής αυτής είναι ιδιαίτερα επωφελής στο προσδιορισμό των ΠΟΕ και ειδικότερα των ενώσεων θείου, οι οποίες αποτελούν μια σημαντική ομάδα οσμών που εκπέμπονται από τις μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων (Zarra et al., 2009). Αυτή η τεχνική λειτουργεί επίσης πολύ καλά στη περίπτωση ταυτοποίησης μεμονωμένων ουσιών που υπάρχουν σε πολύ πολύπλοκα αέρια μίγματα (Pandey and Kim 2009). Για το λόγο αυτό, αυξάνεται η χρήση της σε αναλύσεις του ατμοσφαιρικού αέρα με επίκεντρο την αξιολόγηση του εισπνεόμενου αέρα, η οποία επηρεάζεται από διάφορες εκδηλώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως είναι οι χώροι υγειονομικής ταφής και οι μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

2.6.1 Τεχνική Μικροεκχύλισης Στερεής Φάσης (Solid Phase Micro-Extraction, SPME)

Στις μέρες μας, οι συνεχείς προσπάθειες για τον εκσυγχρονισμό των αναλυτικών οργάνων, έχουν απλοποιήσει σε μεγάλο βαθμό την μείωση της ανάγκης για πολύπλοκες και κοπιαστικές προετοιμασίες δειγμάτων πριν από κάθε ανάλυση. Ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις, η προετοιμασία του δείγματος εξακολουθεί να αποτελεί το σημείο συμφόρησης κατά τη διάρκεια της αναλυτικής μεθοδολογίας (Souza-Silva et al., 2015).

Ειδικότερα κατά το προσδιορισμό των ουσιών πολύπλοκων χημικών μιγμάτων σε επίπεδο ιχνών, απαιτείται η χρήση μιας πολύπλοκης διαδικασίας προετοιμασίας δειγμάτων πριν από την ανάλυση. Τα στάδια που εμπλέκονται στη προετοιμασία του δείγματος, συχνά περιλαμβάνουν την εκχύλιση των ουσιών των πολύπλοκων χημικών μιγμάτων, τον καθαρισμό και την προσυγκέντρωση τα οποία διεξάγονται προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής ευαισθησία για μια συγκεκριμένη αναλυτική μέθοδο (Souza-Silva et al., 2015).

Η δειγματοληψία και η προετοιμασία ενός δείγματος αποτελούν σημαντικά βήματα στη διαδικασία της ανάλυσης. Σύμφωνα με ορισμένες εκτιμήσεις το 60% του χρόνου εργασίας και του λειτουργικού κόστους δαπανάται στην προετοιμασία ενός δείγματος πριν την εισαγωγή του σε αναλυτικά όργανα. Επίσης οι απώλειες και η υποβάθμιση των αναλυόμενων ουσιών είναι συχνές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της προετοιμασίας του δείγματος. Οι τεχνικές της επί τόπου δειγματοληψίας και της προετοιμασίας του δείγματος έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της επιτόπιας – ταχείας ανάλυσης για τον εντοπισμό τυχόν προβλημάτων που θα προκύψουν κατά τη διάρκεια της ανάλυσης (Duan et al., 2011).

Ως εκ τούτου επιδιώκεται μια πιο απλουστευμένη διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων, όχι μόνο για να μειωθεί ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία των δειγμάτων, αλλά και για να μειωθούν τα σφάλματα που

σχετίζονται με κάθε βήμα της διαδικασίας, καθώς το ποσοστό αβεβαιότητας σε μια μεθοδολογία σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των βημάτων που περιέχει. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας συμπεριλαμβανομένης της προετοιμασίας του δείγματος, βελτιώνει την επαναληψιμότητα, μειώνοντας παράλληλα την απαιτούμενη διάρκεια προετοιμασίας ενός δείγματος (Souza-Silva et al., 2015).

Η τεχνική της SPME, εισήχθη το 1989 από τον Pawliszyn και τους συνεργάτες του (Arthur and Pawliszyn, 1990) ως τεχνική εκχύλισης χωρίς διαλύτη. Η τεχνική αυτή δημιουργήθηκε σε μια προσπάθεια να αντιμετωπιστεί η ανάγκη μιας ταχύτερης, αποτελεσματικότερης και συμβατής τεχνικής για δειγματοληψίες πεδίου (Risticovic et al., 2009) η οποία:

- εξαλείφει τη χρήση τοξικών διαλυτών,
- εξοικονομεί χρόνο στη διαδικασία προετοιμασίας του δείγματος,
- ενώ παράλληλα μειώνει το συνολικό κόστος της ανάλυσης (Abdulra'uf, Hammed and Huat Tan, 2012).

Η τεχνική της SPME προσφέρει:

- τα πλεονεκτήματα ενός σύντομου σταδίου προετοιμασίας ενός δείγματος,
- την εκχύλιση χωρίς διαλύτη,
- τη χρησιμοποίηση μικρού όγκου δείγματος,
- τη συγκέντρωση των αναλυόμενων ουσιών από στέρεα, υγρά και αέρια δείγματα.

Η ανάπτυξη της SPME έχει βοηθήσει στην εξάλειψη ορισμένων μειονεκτημάτων των συμβατικών μεθόδων παρασκευής δειγμάτων που βασίζονται σε διαλύτες. Μπορεί να αυτοματοποιηθεί με ευκολία, ενσωματώνοντας έτσι την δειγματοληψία, την εξαγωγή, την προσυγκέντρωση και την εισαγωγή του δείγματος στο αναλυτικό όργανο σε ένα ενιαίο και αδιάλειπτο βήμα δειγματοληψίας, που έχει ως αποτέλεσμα την ανάλυση υψηλής απόδοσης (Risticovic et al., 2009), αποφεύγοντας έτσι τη επιμόλυνση του δείγματος και την απώλεια των αναλυόμενων ουσιών.

Πλεονεκτήματα της τεχνικής SPME

Η τεχνική SPME εφαρμόζεται για την εξαγωγή φυτοφαρμάκων και άλλων ρυπογόνων ουσιών από ένα ευρύ φάσμα μιγμάτων ουσιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που απαντώνται:

- σε περιβαλλοντικές μελέτες,
- σε βιομηχανικά απόβλητα,
- στα φάρμακα και στα ναρκωτικά
- στη διάπραξη εγκλημάτων και στην εγκληματολογία
- και στην ανάλυση των τροφίμων και του νερού.
- Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την ποιοτική και ποσοτική ταυτοποίηση δειγμάτων μέσω χρωματογραφικής ανάλυσης (SPME-GC-MS) (Abdulra'uf, Hammed and Huat Tan, 2012).

Περιορισμοί της SPME

- Ο σημαντικότερος περιορισμός της SPME είναι η ευθραυστότητα της ίνας, η οποία πρέπει να χειρίζεται με προσοχή ώστε να αποφευχθεί η θραύση της. Η ποιότητα της βελόνας εξαρτάται από τον κατασκευαστή και σε ορισμένες περιπτώσεις η απόδοση διαφέρει από παρτίδα σε παρτίδα. Μια νέα ίνα πρέπει να ρυθμιστεί πριν από τη χρήση της, άλλα μπορεί μερικές φορές να συμβεί κάποια αποικοδόμηση από την επίστρωση της ίνας ακόμα και μετά από την προσεκτική προετοιμασία της. Η θερμοκρασία του χρωματογραφικού εγχυτήρα πρέπει πάντα να διατηρείται κάτω από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας της επικάλυψης της ίνας, δηλαδή στις θερμοκρασίες αυτές που καθορίζονται από τον κατασκευαστή. Μετά την εκρόφιση των αναλυόμενων ουσιών στα χρωματογραφικά όργανα, μερικές ουσίες μπορούν να μεταφερθούν από την ίνα και ως εκ τούτου να καθίσταται αναγκαία η εκτέλεση τυφλής ανάλυσης με την ίνα μετά από κάθε δειγματοληψία (Abdulra'uf, Hammed and Huat Tan, 2012).

Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος

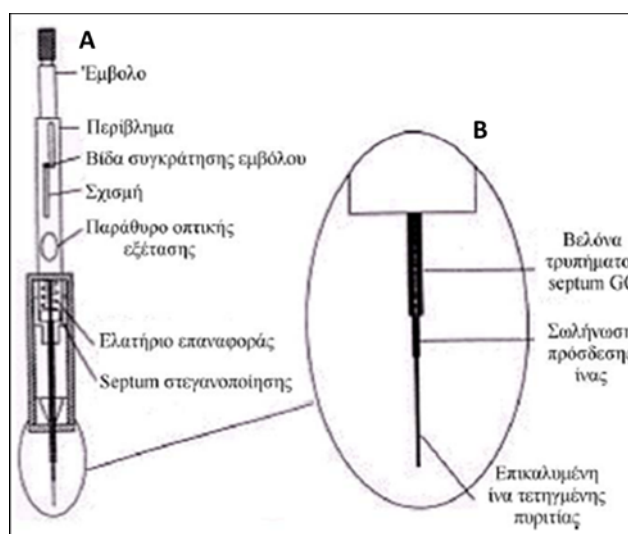
Μια τυπική διαδικασία προετοιμασίας ενός δείγματος από την SPME περιλαμβάνει δυο βήματα: οι αναλυόμενες ουσίες του δείγματος πρώτα εξάγονται και προσυγκεντρώνονται στην προσροφητική φάση και στη συνέχεια

εκροφούνται θερμικά από την προσροφητική φάση και εισάγονται στη χρωματογραφική στήλη για ανάλυση (Duan et al., 2011).

Στην πρωτότυπη έκδοση της SPME, οι προς ανάλυση ουσίες απορροφώνται από το δείγμα με μια επικαλυμμένη ίνα και μεταφέρονται στον εγχυτήρα του αέριου ή υγρού χρωματογράφου, όπου οι ουσίες αυτές απορροφούνται με εξάτμιση σε υψηλή θερμοκρασία ή με διάχυση στην κινητή φάση. Τα πλεονεκτήματα της SPME σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους εκχύλισης είναι ότι λειτουργεί χωρίς οποιοδήποτε οργανικό διαλύτη και ότι μπορεί να εκτελείτε πλήρως αυτόνομα. Επιπρόσθετα η SPME έχει το πλεονέκτημα των καθαρότερων εκχυλισμάτων και είναι ανώτερη από την κλασική αέρια χρωματογραφία (GC), λόγω της συσσώρευσης των αναλυόμενων ουσιών στην ίνα και οι όποιες μπορούν να εκχυθούν στον αέριο χρωματογράφο χωρίς την περίσσεια αέρα. Ο τεράστιος αριθμός άρθρων και βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων που έχουν δημοσιευτεί όσον αφορά την SPME, δείχνει την ευρεία χρήση της τεχνικής αυτής (Pragst, 2007).

Η εκχύλιση και ο εμπλουτισμός των αναλυόμενων ουσιών του δείγματος στην SPME, γίνεται με ένα λεπτό στρώμα ενός κατάλληλου πολυμερούς στην επιφάνεια μιας συντηγμένης ίνας διοξειδίου του πυριτίου στο εσωτερικό τοίχωμα μιας σύριγγας από ανοξείδωτο χάλυβα ή εντος τριχοειδούς σωληνώσεως διοξειδίου του πυριτίου. Η αποτελεσματικότητα της εκχύλισης καθορίζεται από τις ιδιότητες αυτών των επικαλύψεων. Η επικαλυμμένη ίνα είναι διατεταγμένη και στερεωμένη σε μια χαλύβδινη ράβδο που μπορεί να εκτεθεί ή να αφαιρεθεί μέσα από μια βελόνα. Η βελόνα προστατεύει την ίνα και επιτρέπει τη διείσδυση στα διαφράγματα των φιαλιδίων του υπό εξέταση δείγματος ή στον εγχυτήρα χρωματογραφίας χωρίς βλάβη. Ο μόνος κατασκευαστής εμπορικά διαθέσιμων ινών SPME είναι η Supelco (Bellefonte, PA, USA), η οποία προμηθεύει ίνες αποτελούμενες από διοξείδιο του πυριτίου μήκους 1 cm και διαμέτρου 110 μm. Οι επικαλύψεις της ίνας έχουν πάχος μεμβράνης μεταξύ 7–10 μm (Pragst, 2007).

Υπάρχει η ανάγκη για σωστή επιλογή της επίστρωσης των ινών ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματική εκχύλιση του αναλυόμενου στόχου από ένα σύνθετο μίγμα ουσιών. Διαφορές εμπορικές ίνες SPME, διατίθενται στην αγορά με διαφορετική επικάλυψη για κάθε ίνα, όπως επίσης και διαφορετικό όγκο, πάχος και ουσίες στόχους. Είναι σχεδιασμένες για χρήση τόσο για χειροκίνητη όσο και για αυτοματοποιημένη δειγματοληψία (**Γράφημα 2.6.2**). Υπάρχουν επτά εμπορικά διαθέσιμες ίνες SPME, δυο με ομοιογενείς και πέντε με επιστρώσεις μεικτής φάσης (Abdulra'uf, Hammed and Huat Tan, 2012).



Γράφημα 2.6.2: Εμπορικές συσκευές SPME: Α) στήριγμα ίνας SPME, Β) η ίνα της SPME (Supelco, 1998).

2.6.2 Θερμική Εκρόφηση

Η θερμική εκρόφηση (Thermal Desorption, TD) είναι μια ευέλικτη άλλη τεχνική προ- συγκέντρωσης για την αέρια χρωματογραφία (GC) που χρησιμοποιείται για την ανάλυση πτητικών και ημιπτητικών οργανικών ενώσεων για ένα ευρύ φάσμα τυπικών δειγμάτων. Με την εξαγωγή των οργανικών ατμών από ένα δείγμα και τη συγκέντρωσή τους σε ένα πολύ μικρό όγκο φέροντος αερίου, η θερμική εκρόφηση (TD) μεγιστοποιεί την ευαισθησία για τις στοχευόμενες ενώσεις σε επίπεδο ιχνών, συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των παρεμβολών και συνήθως επιτρέπει την ανίχνευση στον αναλυτή σε επίπεδο μέρους ανά εκατομμυριοστό (ppb) ή και σε χαμηλότερα επίπεδα. Επίσης, βελτιώνει

σημαντικά την απόδοση του δείγματος, επιτρέποντας την πλήρη αυτοματοποίηση της προετοιμασίας του δείγματος, της εκρόφησης – εκχύλισης, της προ-συγκέντρωσης και της έγχυσης στον αέριο χρωματογράφο (Markes International, 2018).

2.7 Ηλεκτρονική Μύτη (E-Nose)

Η ηλεκτρονική μύτη (e-nose) είναι μια συσκευή μέτρησης με αισθητήρες, η οποία χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση πολλών χημικών ενώσεων που προέρχονται από διάφορες πηγές. Η συσκευή αυτή λειτουργεί όπως και η ανθρώπινη αίσθηση της όσφρησης. Οι οσμηρές χημικές ενώσεις ανιχνεύονται συνήθως λόγω της παρουσίας ενός συνόλου μη ειδικών χημικών αισθητήρων (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

Η ηλεκτρονική μύτη είναι σε θέση να παρακολουθεί τις εκπομπές αερίων σε πραγματικό χρόνο στο πεδίο και να συνδέεται με τη συγκέντρωση των οσμών που εκφράζονται σε μονάδες οσμής. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένοι περιορισμοί όπως για παράδειγμα η ευαισθησία στην υγρασία και τα υψηλά όρια ανίχνευσης (Gutierrez et al., 2014).

Οι ηλεκτρονικές μύτες επιτρέπουν την αδιάκοπη διεξαγωγή δοκιμών πεδίου, καθώς δεν παρουσιάζουν σε αντίθεση με την ανθρώπινη μύτη, οσφρητική προσαρμογή (Giuliani et al., 2012). Ως εκ τούτου, οι ηλεκτρονικές μύτες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην αξιολόγηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος καταγράφοντας έτσι μικρές μεταβολές στη συγκέντρωση μιας δεδομένης ουσίας στο προς εξέταση αέριο μέσο (Bootsma et al., 2014).

2.8 Σύγκριση των Μεθόδων Ανάλυσης

Ο Πίνακας 2.8.1, παρουσιάζει πληροφορίες, οι οποίες μπορεί να αποτελέσουν τη βάση για μια κριτική σύγκριση των τεχνικών μέτρησης που

χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σε σχέση με την οσφρητική ένταση.

Πίνακας 2.8.1: Σύγκριση των τεχνικών μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα όσον αφορά την ένταση της οσμής (Gebicki, Byliński and Namieśnik, 2016).

Μέθοδος Ανάλυσης	Μέθοδος επεξεργασίας	Θετικά	Αρνητικά
GC-MS	Τα δείγματα συλλέγονται στη πηγή εκπομπή τους και αναλύονται στη συνέχεια με τον ανιχνευτή.	Λόγο της υψηλής ανάλυσης, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η προέλευση διάφορων πολύπλοκων μιγμάτων/ Μερικές φορές απαιτείται η προσυγκέντρωση του δείγματος (SPME, sorbent tubes).	Αδύνατη η αισθητηριακή αξιολόγηση ενός δείγματος/ Η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του δοχείου, ο χρόνος συλλογής κλπ/ Δεν επιτρέπει την ανάλυση των αερίων στο επίπεδο της ανθρώπινης μύτης/ Απαίτηση για ακριβή και εντατική εργασία.
GC-MS-O	Ισχύουν τα πιο πάνω με τη διαφορά ότι μετά το διαχωρισμό το ήμισυ του ρέοντος δείγματος κατευθύνεται σε ένα άτομο στο αισθητηριακό πάνελ.	Επιπρόσθετη συμβολή του ανθρωπίνου παράγοντα/ Διασταυρούμενα στοιχεία από τον ολφακτομετρικό ανιχνευτή και τον φασματομετρικό ανιχνευτή παρέχουν νέες πληροφορίες σχετικά με την συμβολή μιας ουσίας στην οσμή ολοκλήρου του μίγματος.	Λόγο του διαχωρισμού των ουσιών του μίγματος στο σύστημα του αερίου χρωματογράφου, οι οσμηρές ουσίες δεν μπορούν να αναλυθούν ταυτόχρονα/ Υψηλή εξάρτηση μεταξύ της σύνθεσης και της αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος.
Ηλεκτρονικές	Ηλεκτρονικές συσκευές που	Δυνατότητα παράλειψης	Προσδιορισμός των οσμών

μύτες	αποτελούνται από μια συστοιχία αισθητήρων και ένα κατάλληλο σύστημα επεξεργασίας δεδομένων.	του σταδίου της συλλογής δείγματος, παρέχοντας τη δυνατότητα της επί τόπου μέτρησης/Δυνατότητα μέτρησης των οσμών σε χώρους που είναι δύσκολο να επιτευχθούν.	σε χαμηλότερο επίπεδο από ότι στην ολφακτομετρία, κάτι το οποίο επηρεάζει την ικανότητα της εκτίμησης της επίδρασης της οσμής/ Οι επιλεγμένοι αισθητήρες είναι ευαίσθητοι μόνο σε συγκεκριμένες ουσίες ενώ δεν αναγνωρίζονται άγνωστες ουσίες/Πολύπλοκη βαθμονόμηση και αναγκαιότητα για εκπαίδευση στο όργανο.
Ολφακτομετρικές Τεχνικές	Μέθοδοι μέτρησης με τη χρήση αισθητηριακών οργάνων ολφακτομετρίας όπως του ολφακτόμετρου πεδίου Η αξιολόγηση βασίζεται στην αίσθηση της όσφρησης.	Εξάλειψη του προβλήματος της αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος στη περίπτωση του ολφακτόμετρου πεδίου/Χρήσιμο στην αξιολόγηση της οσφρητικής επιβάρυνσης.	Απαιτείται κατάρτιση για να εξασφαλιστεί η αντικειμενικότητα των μελών που συμμετέχουν στις μετρήσεις/Υψηλό κόστος/Διάφορες στην αξιολόγηση της οσμής από τα μέλη της ομάδας.

2.9 Χημειομετρία

Η χημειομετρία είναι συμφωνά με τον ορισμό της Διεθνούς Κοινότητας Χημειομετρίας ο κλάδος της χημείας που χρησιμοποιεί τα μαθηματικά, τη στατιστική και τη μαθηματική λογική με σκοπό να:

- Να παρέχει τις μέγιστες σχετικές πληροφορίες με την ανάλυση χημικών δεδομένων
- Να συμβάλει στο σχεδιασμό ή στην επιλογή των βέλτιστων διαδικασιών κατά την πειραματική φάση καθώς και τη φάση των μετρήσεων
- Να συμβάλει στην απόκτηση γνώσεων όσον αφορά τα χημικά συστήματα.

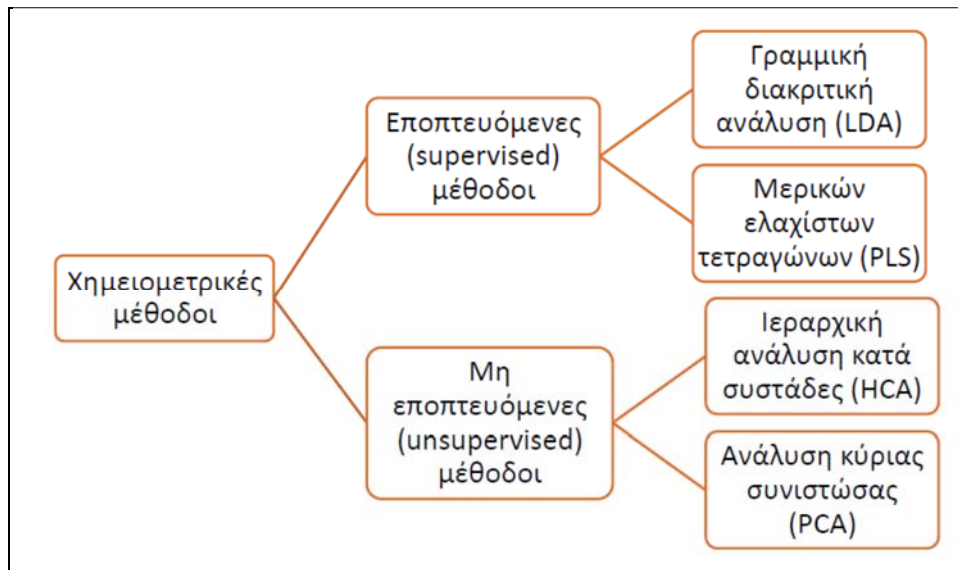
Οι στατιστικές και μαθηματικές μέθοδοι εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στη ψυχολογία, τη βιολογία και τη γεωργία στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Η χημειομετρία ωστόσο είναι σχετικά μια νέα επιστήμη που γεννήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και έγινε ανεξάρτητος τομέας έρευνας στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Η λέξη χημειομετρία επινοήθηκε από τον Σουηδό επιστήμονα Svante Wold στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η συνεργασία του με τον Αμερικανό αναλυτικό επιστήμονα Bruce R. Kowalski, ο οποίος εργαζόταν σε μεθόδους αναγνώρισης πρότυπων στη χημεία, είχε ως αποτέλεσμα την ίδρυση της Διεθνούς Εταιρείας Χημειομετρίας το 1974.

Οι κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη της χημειομετρίας ήταν αφενός η ταχεία ανάπτυξη ισχυρών υπολογιστών με κατάλληλα και εύχρηστα πακέτα λογισμικών και αφετέρου η χρήση πιο παραγωγικού αναλυτικού εξοπλισμού από τους αναλυτικούς χημικούς, οι όποιοι βρίσκονται αντιμέτωποι με όλο και πιο ογκώδες και πολύπλοκο έργο.

Η χημειομετρία έχει πολλές καταβολές μέσα στην αναλυτική χημεία, αλλά δεν εδράζεται αποκλειστικά στον τομέα αυτό. Άλλοι επιστήμονες (μηχανικοί περιβάλλοντος, κλινικοί και ιατροδικαστές, τεχνολόγοι τροφίμων, βιολόγοι, φυσικοί, μαθηματικοί, ηλεκτρολόγοι μηχανικοί), χρειάζονται την χημειομετρία τόσο στη σχεδίαση των πειραμάτων τους όσο και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους (Einax, 2004).

Κυριότερες χημειομετρικές μέθοδοι

Οι χημειομετρικές τεχνικές μπορούν να διαχωριστούν σε 2 κατηγορίες: εποπτευόμενες (supervised) και μη εποπτευόμενες (unsupervised) μέθοδοι (Σχήμα 3.2.1).



Σχήμα 3.2.1: Ταξινόμηση Χημειομετρικών μεθόδων.

Οι μη εποπτευόμενες μέθοδοι σκοπεύουν στην ταυτοποίηση συστάδων ή τάσεων μεταξύ των δειγμάτων, χωρίς εκ των προτέρων γνώση των τάξεων ή των ομάδων. Αντίθετα, οι εποπτευόμενες μέθοδοι βασίζονται σε μια εκ των προτέρων διάταξη των αντικειμένων σε μέλη της τάξης για τη δημιουργία ενός αντίστοιχου μαθηματικού μοντέλου (σετ κατάρτισης – training set). Στη συνέχεια, μπορούν να προβλεφθούν άγνωστα αντικείμενα (σετ δοκιμών – test set). Για παράδειγμα, στον τομέα της ανάλυσης των τροφίμων, οι συνηθισμένες μη εποπτευόμενες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η ιεραρχική ανάλυση κατά συστάδες (Hierarchical Cluster Analysis – HCA) και η ανάλυση κύριας συνιστώσας (Principal Component Analysis – PCA). Οι δημοφιλείς εποπτευόμενες μέθοδοι είναι η γραμμική διακριτική ανάλυση (Linear Discriminant Analysis – LDA) και η παλινδρόμηση μερικών ελαχίστων τετραγώνων (Partial Least Squares – PLS) (Reinholds et al., 2015).

Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis, PCA)

Η πρώτη περιγραφή της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Components Analysis, PCA), έγινε από τον Pearson το 1901. Η PCA είναι ένα εργαλείο ανάλυσης δεδομένων που συνήθως χρησιμοποιείται για να μειώσει τη διαστατικότητα (αριθμός μεταβλητών) ενός μεγάλου αριθμού αλληλοσυνδεόμενων μεταβλητών, ενώ διατηρεί όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες (variation). Η PCA υπολογίζει ένα μη συσχετισμένο σύνολο

μεταβλητών (factors ή PC's). Αυτοί οι παράγοντες διατάσσονται έτσι ώστε, οι πρώτοι να διατηρούν το μεγαλύτερο μέρος της παραλλαγής, που υπάρχει σε όλες τις αρχικές μεταβλητές (NCSS Statistical Software, 2018).

Το κόμποστ είναι ένα τόσο μεταβλητό και σύνθετο υλικό που η συστηματική ταξινόμηση και κατηγοριοποίηση του είναι δύσκολη. Αρκετοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει αρχές της χημειομετρίας και της στατιστικής ανάλυσης για την ταξινόμηση και το χαρακτηρισμό του κόμποστ (Li et al., 2001; Zbytniewski and Buszewski, 2005; Campitelli and Ceppi, 2008; Bustamante et al., 2010).

Οι Campitelli and Ceppi (2008) μέτρησαν 19 παραμέτρους 28 διαφορετικών δειγμάτων κόμποστ που διέφεραν μεταξύ τους ως προς τις πρώτες ύλες και τις μεθόδους επεξεργασίας. Οι ερευνητές αυτοί διαπίστωσαν μια μεγάλη διακύμανση των παραμέτρων αυτών, αλλά χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους όπως η PCA και η Γραμμική Διακριτική Ανάλυση (LDA), βρήκαν πως οι πιο αντιπροσωπευτικοί δείκτες για την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων κόμποστ ήταν ο ολικός οργανικός άνθρακας, ο Δείκτης Βλαστικότητας και ο υδροδιαλυτός άνθρακας.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός – Στόχοι και Ερευνητικά Ερωτήματα

Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής, ήταν η μελέτη της διεργασίας της οικιακής κομποστοποίησης και της συσχέτισης της οσμής (μελέτη των εκπομπών των Π.Ο.Ε) μέσω βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων (θερμοκρασίας, υγρασίας, οργανικής ουσίας, pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, φυτοτοξικότητας).

3.2 Παρασκευή της Σωρού Κομποστοποίησης

Για τους σκοπούς της πειραματικής διαδικασίας δυο κάδοι κομποστοποίησης από ανακυκλώσιμο πλαστικό συνολικής χωρητικότητας 330 λίτρων, ύψους 1 μέτρου και διαμέτρου 80 εκατοστών (Straight Manufacturing, 2018) τοποθετήθηκαν σε περικλειστο χώρο του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κύπρου (**Εικόνα 3.2**).

Οι δυο κάδοι σημάνθηκαν ως ακολούθως: ο πρώτος κάδος ως K1 και ο δεύτερος κάδος ως K2. Η χρησιμοποίηση δυο διαφορετικών κάδων έγινε για το λόγο ότι κατά την 4^η ημέρα τροφοδοσίας των κάδων με τα απορρίμματα, στον K2 προστεθήκαν 5% επιπλέον κλαδέματα γρασιδιού από ότι στον K1, ώστε να προσεγγίζεται περισσότερο η κομποστοποίηση τύπου αυλής. Στον **Πίνακα 3.2α** γίνεται εκτενείς περιγραφή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την τροφοδοσία των δυο κάδων K1 και K2, καθώς επίσης και το βάρος των υλικών

αυτών, ενώ στον **Πίνακα 3.2β** καταγράφεται το συνολικό βάρος των αποβλήτων που προστεθήκαν στους δυο κάδους.

Για τη παρασκευή του κόμποστ χρησιμοποιήθηκαν υπολείμματα φρούτων και υπολείμματα λαχανικών, καθώς επίσης ξερά φύλλα ακακίας, ευκαλύπτου και κλαδέματα γρασιδιού, ενώ σαν διογκωτικό για εξαερισμό της μάζας κομποστοποίησης χρησιμοποιήθηκαν πριονίδι και φρυγανιά (**Εικόνα 3.2**). Τα υπολείμματα τροφίμων παραλαμβάνονταν από το εστιατόριο Γαλάζιο Κύμα (Λάρνακα) και τα ξενοδοχεία Yianna Marie (Πρωταράς) και Lordos Beatch Hotel (Λάρνακα). Στη συνέχεια, αυτά τεμαχίζονταν σε μικρότερα κομμάτια και αφού ζυγίζονταν τοποθετούνταν στους δυο κάδους κομποστοποίησης.



Εικόνα 3.2: Α) Οι δυο κομποστοποιητές, Β) Τοποθέτηση πράσινων υλικών στους κάδους, Γ) Τοποθέτηση ξερών φύλλων στους κομποστοποιητές και ανάδευση.

Δυο φορές τη εβδομάδα και μέχρι το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης γινόταν ανάδευση των κάδων με ειδικό μεταλλικό εργαλείο ανάδευσης, ώστε να εξασφαλίζεται ο καλύτερος εξαερισμός της σωρού κομποστοποίησης. Η 1^η ανάδευση έγινε στις 10/10/2017, η 2^η στις 15/10/2017, η 3^η στις 23/10/2017 η 4^η στις 25/10/2017, η 5^η στις 30/10/2017, η 6^η στις 1/11/2017, η 7^η 6/11/2017, η 8^η στις 13/11/2017, η 9^η στις 15/11/2017, η 10^η στις 21/11/2017, η 11^η στις 4/12/2017 και η 12^η στις 8/1/2018. Επίσης, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης έγινε προσθήκη δυο φορές 2 λίτρων νερού στους κάδους K1 και K2, ώστε να εξασφαλιστεί ικανοποιητική υγρασία. Η

πρώτη προσθήκη έγινε κατά την 2^η ημέρα τροφοδοσίας στις 4/10/2017 και η δεύτερη προσθήκη 20 ημέρες αργότερα, στις 24/10/2017.

Πίνακας 3.2α. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη τροφοδοσία των κάδων K1 και K2.

1^η Ημέρα Τροφοδοσίας (Τρίτη, 3/10/17)	K1 (Kg)	K2 (Kg)
Πράσινα (μαρούλι, φλούδες πατάτας, μαϊντανός, αγγουράκι, φλούδες πεπονιού)	7	7
Πριονίδι	0,35	0,35
Γρασίδι ξερό	2	2
Σύνολο	9,35	9,35
2^η Ημέρα Τροφοδοσίας (Τετάρτη, 4/10/17)		
Πράσινα (ντομάτες, φλούδες πατάτας, φλούδες μηλών)	13,25	13,25
Φρυγανιά	0,76	0,76
Φύλλα ξερά (Ακακία/Ευκάλυπτος)	2	2
Γρασίδι ξερό	0,2	0,2
Σύνολο	16,21	16,21
3^η Ημέρα Τροφοδοσίας (Κυριακή, 8/10/17)		
Πράσινα (μαρούλι, φλούδες πορτοκαλιών, σέλινο, φλούδες πατάτας)	33,25	33,25
Φρυγανιά	1,74	1,74
Φύλλα ακακίας ξερά/κελύφη αμυγδάλου	6	6
Σύνολο	41	41
4^η Ημέρα Τροφοδοσίας (Κυριακή, 15/10/17)		
Πράσινα (μαρούλι, φλούδες πεπονιού, φλούδες πατάτας)	22	22
Πριονίδι	1,1	1,1

Γρασίδι ξερό	-	4
Φύλλα ακακίας ξερά	7	3
Σύνολο	30,1	30,1

Πίνακας 3.2β: Το συνολικό βάρος των αποβλήτων που προστέθηκαν στους κάδους K1 και K2.

Συστατικά	K1 (Kg)	K2 (Kg)
Πράσινα	75,5	75,5
Πριονίδι/Φρυγανιά	3,95	3,95
Γρασίδι ξερό	2,2	6,2
Καφέ (φύλλα ακακίας/ευκαλύπτου/κελύφη αμυγδάλων)	15	11
Σύνολο	96,65	96,65

3.3 Μελέτη φυσικοχημικών παραμέτρων

Οι φυσικοχημικές παραμέτροι που μελετήθηκαν στα πλαίσια της διαδικασίας κομποστοποίησης στους κάδους K1 και K2 ήταν: η θερμοκρασία, η υγρασία, η οργανική ουσία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η φυτοτοξικότητα.

❖ Δειγματοληψίες

Για την ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων λαμβανόταν ξεχωριστά για τον κάθε κάδο δείγμα 250 γραμμαρίων από τη σπή στο κάτω μέρος των κομποστοποιητών. Στον **Πίνακα 3.3** καταγράφονται οι ημερομηνίες λήψεις των δειγμάτων για ανάλυση:

Πίνακας 3.3: Καταγραφή των ημερομηνιών λήψης των δειγμάτων για ανάλυση.

Δειγματοληψία	Ημέρα	Ημερομηνία
1 ^η	0	10/10/2017
2 ^η	7 ^η	18/10/2017
3 ^η	14 ^η	24/10/2017
4 ^η	21 ^η	31/10/2017
5 ^η	28 ^η	7/11/2017
6 ^η	35 ^η	14/11/2017
7 ^η	49 ^η	28/11/2017
8 ^η	63 ^η	12/12/2017
9 ^η	84 ^η	9/1/2018
10 ^η	120 ^η	16/2/2018

3.3.1 Παρακολούθηση θερμοκρασίας

Σε όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης στους κάδους K1 και K2, η μέτρηση της θερμοκρασίας καταγραφόταν 2 με 3 φορές τη εβδομάδα με τη χρήση ενός ψηφιακού θερμομέτρου κουζίνας (TP101) με ανοξείδωτη ακίδα διείσδυσης (συνολικό μήκος 18 cm, μήκος ακροδέκτη 11 cm), (**Εικόνα 3.3.1**). Το θερμόμετρο εφαρμοζόταν στο κέντρο της σωρού κομποστοποίησης πάντα την ίδια ώρα της ημέρας (3 μμ.) και η καταγραφή της θερμοκρασίας γινόταν μετά από πάροδο 15 λεπτών. Παράλληλα, καταγραφόταν και η θερμοκρασία περιβάλλοντος με τη χρήση συμβατικού θερμομέτρου υδραργύρου τοποθετημένου στον περιβάλλοντα χώρο των κάδων κομποστοποίησης.



Εικόνα 3.3.1: Ψηφιακό θερμόμετρο κουζίνας (TP101).

3.3.2 Προσδιορισμός Υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας σε δείγματα κόμποστ γινόταν ως ακολούθως:

Σε κάψα πορσελάνης λαμβάνεται δείγμα κομπόστ 5 γραμμαρίων από τον Κ1 και τον Κ2 και ζυγίζεται σε ζυγαριά ακριβείας. Το δείγμα τοποθετείται σε φούρνο κενού (Heraeus, VT 5042 ΕΚ) θερμοκρασίας 105°C για 12 ώρες (**Εικόνα 3.3.2**). Έπειτα το δείγμα τοποθετείται σε ξηραντήρα και ζυγίζεται. Η υγρασία υπολογίζεται από τη διαφορά πριν και μετά την ξήρανση στους 105°C. Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό υγρασίας του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος (Tan, 2005). Αντίστοιχα, πραγματοποιούνται διπλές μετρήσεις για κάθε δείγμα, ο μέσος όρος των οποίων ορίζει και την τελική τιμή.

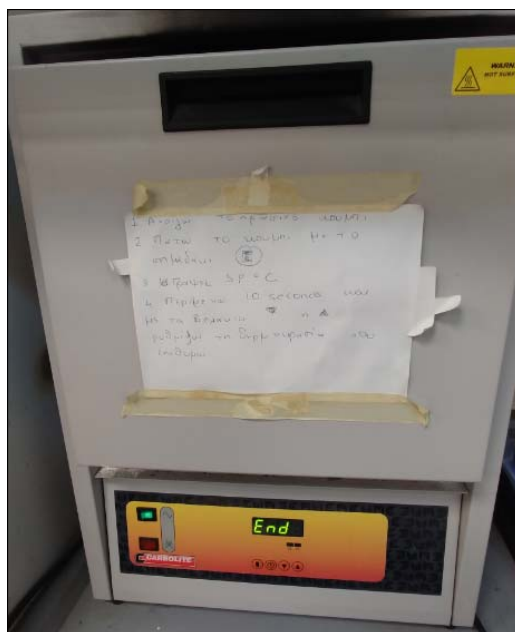


Εικόνα 3.3.2: Φούρνος κενού για ξήρανση των δειγμάτων κόμποστ.

3.3.3 Προσδιορισμός της Οργανικής Ουσίας

Η οργανική ουσία σε δείγματα κόμποστ πραγματοποιήθηκε με καύση στερεού δείγματος σε υψηλή θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα σε κάψα πορσελάνης λαμβάνεται δείγμα κομπόστ 5 γραμμαρίων από τον Κ1 και τον Κ2 και ζυγίζεται σε ζυγαριά ακριβείας. Έπειτα το δείγμα τοποθετείται σε κλίβανο (Carbolite, ELF 11/6) με θερμοκρασία λειτουργίας 430°C, με χρόνο παραμονής των στερεών τις 24 ώρες (**Εικόνα 3.3.3**). Στη συνέχεια η εκτίμηση της περιεχόμενης οργανικής ουσίας στο δείγμα γίνεται με

τον υπολογισμό της απώλειας βάρους, πριν και μετά την εισαγωγή του στον κλίβανο. Η διαφορά του βάρους αντιπροσωπεύει κατά βάση το πόσο του οργανικού φορτίου που απομακρύνθηκε από το στερεό (Tan, 2005). Αντίστοιχα, πραγματοποιούνται διπλές μετρήσεις για κάθε δείγμα, ο μέσος όρος των οποίων ορίζει και την τελική τιμή.



Εικόνα 3.3.3: Κλίβανος για τη καύση των δειγμάτων κόμποστ.

3.3.4 Προσδιορισμός pH

Για τον προσδιορισμό του pH, λαμβάνεται δείγμα 5 γραμμάρων από κάθε κάδο και τοποθετείτο σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Στη συνέχεια γίνεται προσθήκη 50 ml απιονισμένου νερού και μαγνήτη ανάδευσης και με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα το δείγμα αναδεύεται για 30 λεπτά στις 600 στροφές. Έπειτα ο μαγνήτης αφαιρείται από το ποτήρι ζέσεως και με τη βοήθεια πεχαμέτρου (Crison Instruments S.A, MM40+) μετρείται το pH του κάθε δείγματος (**Εικόνα 3.3.4**). Αντίστοιχα, πραγματοποιούνται διπλές μετρήσεις για κάθε δείγμα, ο μέσος όρος των οποίων ορίζει και την τελική τιμή (Tan, 2005) .



Εικόνα 3.3.4: Το πεχάμετρο που χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό του pH.

3.3.5 Προσδιορισμός Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας λαμβάνεται δείγμα 5 γραμμάρων από κάθε κάδο και τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml. Στη συνέχεια γίνεται προσθήκη 50 ml απιονισμένου νερού και μαγνήτη ανάδευσης και με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα κάθε δείγμα αναδεύεται για 30 λεπτά στις 600 στροφές. Έπειτα γίνεται αφαίρεση των μαγνητών από το ποτήρι ζέσεως και το διάλυμα τοποθετείται σε δοκιμαστικούς σωλήνες για να ακολουθήσει φυγοκέντρηση (Centromix II-BL) για 10 λεπτά στις 2000 στροφές. Το αγωγιμόμετρο στη συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται ενσωματωμένο στη συσκευή του πεχάμετρου, επομένως η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την μέτρηση του pH, αφορά και την μέτρηση της αγωγιμότητας του στερεού, η οποία καταγράφεται σε mS/cm (Crison Instruments S.A, MM40+). Αντίστοιχα, πραγματοποιούνται διπλές μετρήσεις για κάθε δείγμα, ο μέσος όρος των οποίων ορίζει και την τελική τιμή (Tan, 2005).

3.3.6 Προσδιορισμός Φυτοτοξικότητας σε Τριβλία

Για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας σε τριβλία ακολουθηθήκαν τα πιο κάτω βήματα (Tiquia and Tam, 1998). Σε δυο ποτήρια ζέσεως των 100 ml προστέθηκε δείγμα 5 γραμμάρων κόμποστ από τον K1 και K2 αντίστοιχα, 50 ml απιονισμένου νερού και μαγνήτης

- Ανάδευση με μαγνητικό αναδευτήρα για 30 λεπτά στις 600 στροφές.

- Φυγοκέντρωση στις 2000 στροφές για 10 λεπτά.
- Διήθηση υπό κενό με διηθητικό χαρτί Whatman 41 (20–25 μm).
- Σε 6 τριβλία (2 τριβλία για το τυφλό δείγμα, 2 για το K1 και 2 για τον K2) τοποθετείται διηθητικό χαρτί Whatman 1.
- Προσθήκη 10 ml απιονισμένου νερού στα τριβλία με το τυφλό δείγμα και προσθήκη 10 ml διηθήματος στα τριβλία των K1 και K2 αντίστοιχα.
- Τοποθέτηση σε κάθε τριβλίο 20 σπόρων μαρουλίου σε διάταξη ώστε να ισαπέχουν μεταξύ τους.
- Τοποθέτηση των τριβλίων για 5 ημέρες σε σκοτεινό ντουλάπι όπου επικρατεί θερμοκρασία 25 °C (**Εικόνα 3.3.6**).
- Καταμέτρηση αριθμού σπόρων που έχουν βλαστήσει και καταμέτρηση του μήκους των βλαστών τους με τη βοήθεια χάρακα.

Ο δείκτης βλαστικότητα (Δ.Β) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta.B = \frac{G * L}{100}$$

Όπου:

G: [αριθμός των βλαστών του δείγματος/αριθμός των βλαστών του τυφλού δείγματος] * 100,

L: [μήκος του βλαστού στο κανονικό δείγμα/μήκος του βλαστού στο τυφλό δείγμα] * 100.

Για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων ως προς τη φυτοτοξικότητα τους ισχύει η πιο κάτω κατηγοριοποίηση:

- ❖ 0 < Δ.Β < 25: πολύ φυτοτοξικό
- ❖ 26 < Δ.Β < 65: φυτοτοξικό
- ❖ 66 < Δ.Β < 100: μη φυτοτοξικό
- ❖ Δ.Β > 101: φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό.



Εικόνα 3.3.6: Τοποθέτηση των τριβλίων σε σκοτεινό ντουλάπι.

3.4 Προσδιορισμός των ΠΟΕ

Ο προσδιορισμός των ΠΟΕ έγινε μέσω της μεθόδου SPME-GC /MS (Agilent GC 7890B/MS 5977B). Για τους σκοπούς της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε επικαλυμμένη ίνα μικροεκχύλισης στερεής φάσης 75μm Carboxen/PDMS (Supelco). Πριν από κάθε ανάλυση η ίνα τοποθετείτο στη θύρα έκχυσης του αέριου χρωματογράφου για 30 λεπτά στους 300°C για να αναγεννηθεί.

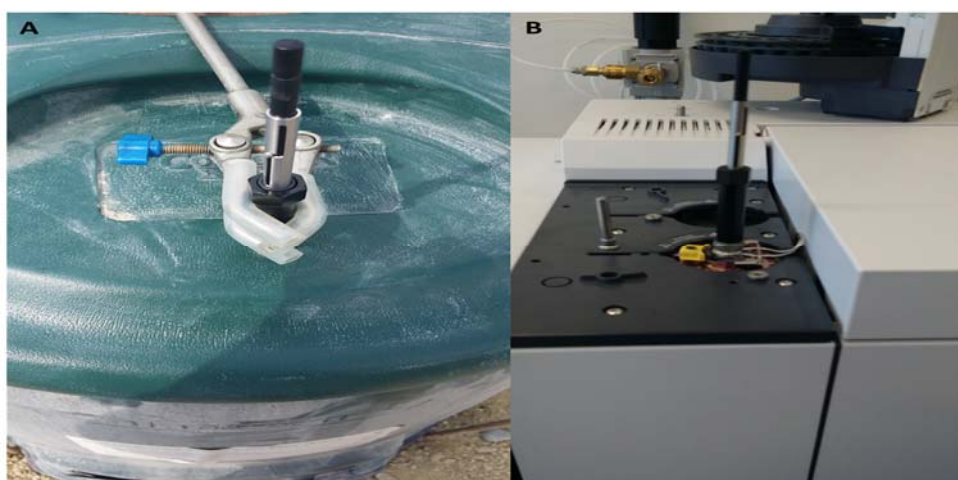
Οι ίνες εκροφούνταν θερμικά στους 280 °C για 1 λεπτό στην θύρα εισόδου του αέριου χρωματογράφου σε λειτουργία διαχωρισμού 15:1. Οι Π.Ο.Ε διαχωρίστηκαν με χρήση τριχοειδούς στήλης SPB-624 μήκους 60 μέτρων, εσωτερικής διαμέτρου 250 μm με φιλμ 1,4 μm (Supelco, 2018). Οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στον αέριο χρωματογράφο (θερμοπρογραμματισμός) ήταν: 35°C για 5 λεπτά και στη συνέχεια άνοδος με ρυθμό 4°C/λεπτό μέχρι να φτάσει στους 180°C με παραμονή για 20 λεπτά. Η ροή του φέροντος αέριου (Ήλιο) ήταν 1,7 ml/λεπτό και θερμοκρασία εισόδου 280°C.

Η πηγή του φασματομέτρου μάζας, η γραμμή μεταφοράς και η θερμοκρασία του τετραπόλου ήταν 230°C, 250°C και 150°C, αντίστοιχα. Το φασματόμετρο μάζας λειτούργησε στα 70 eV και το εύρος σάρωσης μαζών ρυθμίστηκε στα 35–350 m/z. Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε για την χημική ταυτοποίηση των Π.Ο.Ε

ήταν η NIST11. Για επιβεβαίωση των χρόνων ανάλυσης συγκεκριμένων ουσιών χρησιμοποιήθηκε πρότυπο διάλυμα 60 ουσιών (EPA Mix 1, Supelco). Η ολοκλήρωση των εμβადών έγινε μέσω του προγράμματος HP Chem Station.

➤ Δειγματοληψία

Η ανίχνευση των Π.Ο.Ε που παράγονταν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κομποστοποίησης στους κάδους K1 και K2 γινόταν με εισαγωγή ίνας της SPME στο ειδικό σημείο εισαγωγής του κάδου (ιδιοκατασκευή). Η ίνα στερεωνόταν στο πάνω μέρος του κάθε κάδου, εκτίθετο για 30 λεπτά στο εσωτερικό κάθε κάδου για να προσροφήσει τις ΠΟΕ και μετά τη πάροδο των 30 λεπτών η ίνα εισάγεται στο δειγματοφορέα της για να ακολουθήσει μεταφορά και έκθεση της στον αέριο χρωματογράφο (**Εικόνα 3.4.1**).



Εικόνα 3.4.1: Α) Η ίνα στερεωμένη στον κομποστοποιήτη, Β) Η εισαγωγή της ίνας στον αέριο χρωματογράφο.

Οι δειγματοληψίες που έγιναν στους δυο κάδους παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 3.4.1: Ημερομηνίες δειγματοληψιών Π.Ο.Ε.

Δειγματοληψία	Ημέρα	Ημερομηνία
1 ^η	0	9/10/2017
2 ^η	7 ^η	16/10/2017
3 ^η	14 ^η	23/10/2017
4 ^η	21 ^η	30/10/2017

5 ^η	28 ^η	6/11/2017
6 ^η	35 ^η	13/11/2017
7 ^η	49 ^η	27/11/2017
8 ^η	63 ^η	11/12/2017

3.5 Χημειομετρική Ανάλυση

Στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αναλύθηκαν 2 σύνολα δεδομένων, που παριστάνονται με τη μορφή πινάκων:

- Ο 1^{ος} πίνακας δεδομένων μεγέθους 16x13, περιέχει τα εμβαδά των χρωματογραφικών κορυφών για τις 13 ΠΟΕ που ανιχνευτήκαν και στους 2 κάδους κομποστοποίησης K1 και K2 κατά τις 8 δειγματοληψίες από κάθε κάδο ξεχωριστά συναρτήσει του χρόνου (συνολικά 16 δειγματοληψίες). Οι γραμμές του πίνακα αντιστοιχούν στις 16 δειγματοληψίες και οι στήλες στις 13 ΠΟΕ.
- Ο 2^{ος} πίνακας δεδομένων μεγέθους 7x16, αποτελείτο από τις τιμές των 7 φυσικοχημικών παραμέτρων κατά τις 8 δειγματοληψίες από κάθε κάδο ξεχωριστά συναρτήσει του χρόνου (συνολικά 16). Οι γραμμές του πίνακα αντιστοιχούν στις 16 ημέρες δειγματοληψιών και οι στήλες στις 7 φυσικοχημικές παραμέτρους.

Η μέθοδος Principal Component Analysis PCA (Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών), εφαρμόστηκε και στους δυο πίνακες δεδομένων ώστε να γίνει η διερεύνηση τους και να εντοπιστούν οι κύριες πηγές μεταβλητότητας σε κάθε σύνολο δεδομένων.

Η PCA εφαρμόστηκε στους πίνακες που προέκυψαν μετά από προεπεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, ώστε να αποκτήσουν όλες οι στήλες μηδενικό μέσο όρο και μοναδιαία τυπική απόκλιση (autoscaled data). Με αυτό τον τρόπο όλες οι μεταβλητές αποκτούν την ίδια βαρύτητα στην περαιτέρω ανάλυση. Η εφαρμογή της PCA έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Unscrambler (Camo Software, 2018).

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

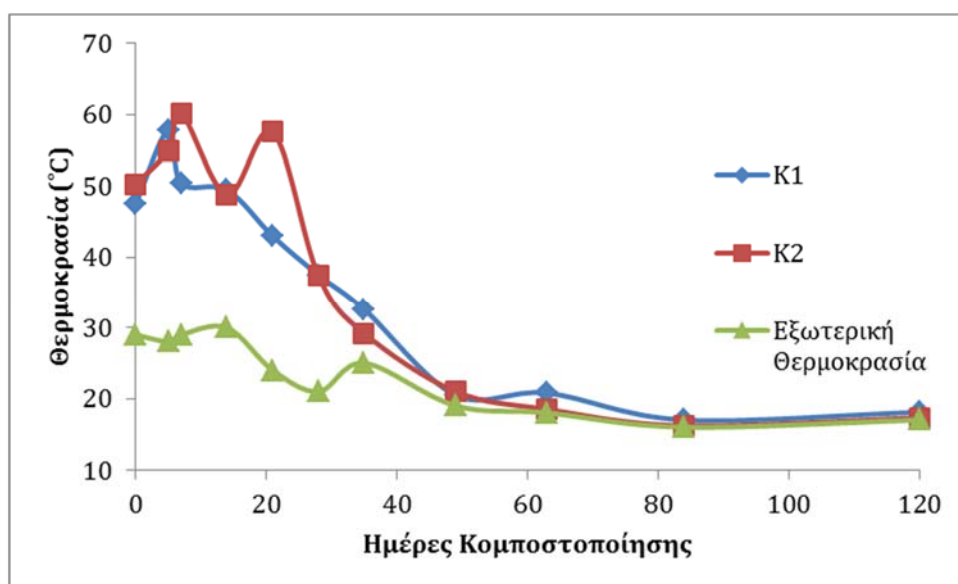
4.1 Διακύμανση Θερμοκρασιών

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας, όπως αυτά παρουσιάζονται στο **Γράφημα 4.1**, φαίνεται ότι η θερμοκρασία στον K1 από την αρχή της διαδικασίας της κομποστοποίησης αυξάνεται συνεχώς μέχρι την 14^η ημέρα της κομποστοποίησης, όπου και αρχίζει σταθερά και σταδιακά να μειώνεται. Κατά την 49^η ημέρα της διαδικασίας κομποστοποίησης, η θερμοκρασία στον K1 ξεκίνα να σταθεροποιείται σε σχετικά χαμηλές τιμές και να εξισορροπείται με τις εξωτερικές θερμοκρασίες μέχρι και το τέλος της διαδικασίας την 120^η ημέρα. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν: την 5^η ημέρα (57.8°C) και την 7^η ημέρα (50.4 °C), ενώ οι χαμηλότερες την 84^η ημέρα (17 °C) και την 120^η (18.1 °C), αντίστοιχα (**Πίνακας 4.1**).

Αντίστοιχα η καμπύλη διακύμανσης του K2 δείχνει μια αύξηση της θερμοκρασίας από την αρχή της διαδικασίας κομποστοποίησης μέχρι την 7^η ημέρα, ενώ μετά την 7^η ημέρα παρατηρείται πτώση της θερμοκρασία εως και την 14^η μέρα, οπότε και η θερμοκρασία ξεκίνησε να αυξάνει εως και την 21^η ημέρα. Από την 21^η ημέρα ξεκίνα η κατακόρυφη πτώση της θερμοκρασίας μέχρι και την 49^η μέρα. Από την 49^η ημέρα, η θερμοκρασία κυμάνθηκε σε σταθερά χαμηλές τιμές, όπου μέχρι και το τέλος της πειραματικής διαδικασίας ακολούθησε τις τιμές της καμπύλης της εξωτερικής θερμοκρασίας (**Γράφημα 4.1**). Οι υψηλότερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν: την 7^η ημέρα (60.2°C) και την 21^η (57.6 °C), ενώ οι χαμηλότερες την 84^η ημέρα (16.2 °C) και την 120^η (17.3 °C) αντίστοιχα (**Πίνακας 4.1**).

Πίνακας 4.1: Καταγραφή της θερμοκρασίας κατά την κομποστοποίηση στους δύο κομποστοποιητές και της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Ημέρα	K1 (°C)	K2 (°C)	Εξωτερική Θερμοκρασία (°C)
0	47.6	50.3	29
5	57.8	55	28
7	50.4	60.2	29
14	49.5	48.8	30
21	43	57.6	24
28	37.5	37.4	21
35	32.6	29.2	25
49	20.5	21	19
63	20.8	18.5	18
84	17	16.2	16
120	18.1	17.3	17



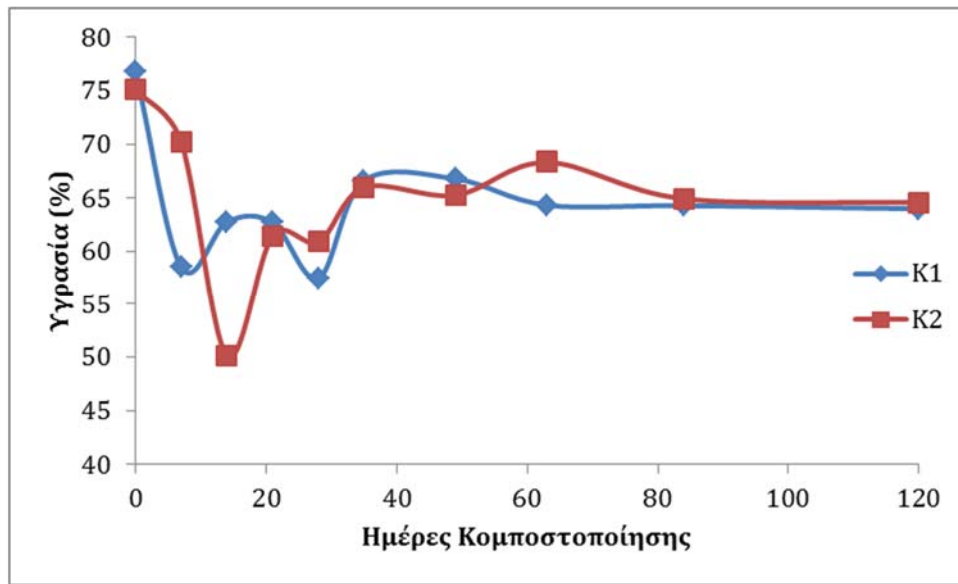
Γράφημα 4.1: Διακύμανση των θερμοκρασιών συναρτήση του χρόνου.

4.2 Διακύμανση Υγρασίας

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.2** και στον αντίστοιχο **Πίνακα 4.2**, κατά τη πρώτη μέρα της διαδικασίας της κομποστοποίησης, τόσο στον K1 όσο και στον K2 τα επίπεδα υγρασίας ήταν σε ψηλά επίπεδα. Στον K1 η αρχική υγρασία μετρήθηκε στο 76.76% και στον K2 στο 75.09%. Όσο προχωρούσε η διαδικασία της κομποστοποίησης η υγρασία ξεκίνησε να πέφτει και στους δυο κάδους. Συγκεκριμένα, κατά την 7^η ημέρα στον K1 η υγρασία κατήλθε στο 58.5%, ενώ στον K2 κατά την 14^η ημέρα η υγρασία κατήλθε στο 50.14%. Από την 21^η ημέρα η υγρασία και στο K1 και στον K2 ανέβηκε σταδιακά, ενώ από την 80^η έως την 120^η ημέρα της κομποστοποίησης η υγρασία σταθεροποιήθηκε σε ποσοστό 64 % για τον K1 και στο 64.57% για τον K2 (**Πίνακας 4.2**).

Πίνακας 4.2: Περιεχόμενη υγρασία των στερεών στους δυο κομποστοποιητές.

Ημέρα	K1 (%)	K2 (%)
0	76.76	75.09
7	58.5	70.18
14	62.77	50.14
21	62.69	61.47
28	57.46	60.89
35	66.63	66
49	66.8	65.26
63	64.34	68.35
84	64.29	64.94
120	64	64.57



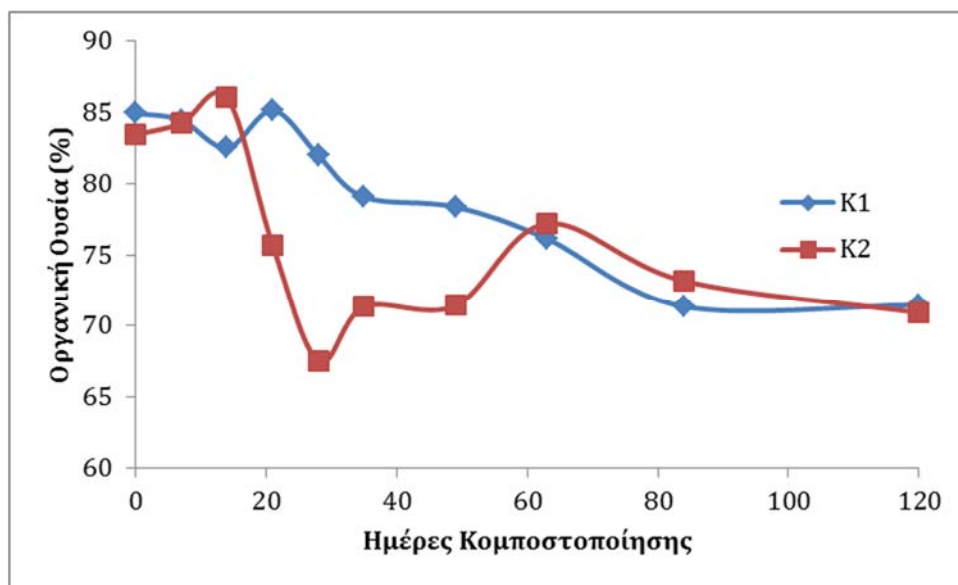
Γράφημα 4.2: Διακύμανση της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήση του χρόνου.

4.3 Διακύμανση Οργανικής Ουσίας

Στο **Γράφημα 4.3** και αντίστοιχα στο **Πίνακα 4.3** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διακύμανσης της οργανικής ουσίας στους K1 και K2 κατά τη διάρκεια της κομποστοποιητικής διαδικασίας. Στη 1^η μέτρηση, η οργανική ουσία και στους δυο κάδους βρίσκεται σε αρκετά ψηλά επίπεδα στο K1 84.95% και στο K2 στο 83.44%. Στο K1 η οργανική ουσία κατά τη πάροδο του χρόνου και μέχρι την 21^η ημέρα ακολουθεί μια πτωτική πορεία. Κατά την 21^η ημέρα υπάρχει μια άνοδος στην οργανική ουσία στο K1 και από την 21^η ημέρα μέχρι και το τέλος της πειραματικής διαδικασίας ακολουθείται μια πτωτική πορεία, καταλήγοντας την 120^η ημέρα στο 71.47% (**Πίνακας 4.3**). Αντίθετα, στον K2 μετά την 1^η μέτρηση η οργανική ουσία ανεβαίνει σταδιακά μέχρι και την 14^η ημέρα, οπότε και ξεκίνα να μειώνεται παίρνοντας την ελάχιστη της τιμή την 28^η ημέρα. Ακολούθως αρχίζει να ανεβαίνει μέχρι και την 63^η ημέρα και από εκείνο το σημείο και μέχρι το τέλος της διαδικασίας να ακολουθείται μια καθοδική πορεία, όπου παίρνει τη τιμή 70.92 % την 120^η ημέρα (**Πίνακας 4.3**).

Πίνακας 4.3: Περιεχόμενη οργανική ουσία των στέρεων στους δυο κάδους.

Ημέρα	K1 (%)	K2 (%)
0	84.95	83.44
7	84.46	84.24
14	82.51	86.04
21	85.15	75.71
28	81.99	67.5
35	79.1	71.34
49	78.4	71.43
63	76.16	77.22
84	71.36	73.18
120	71.47	70.92



Γράφημα 4.3: Διακύμανση της οργανικής ουσίας συναρτήση του χρόνου.

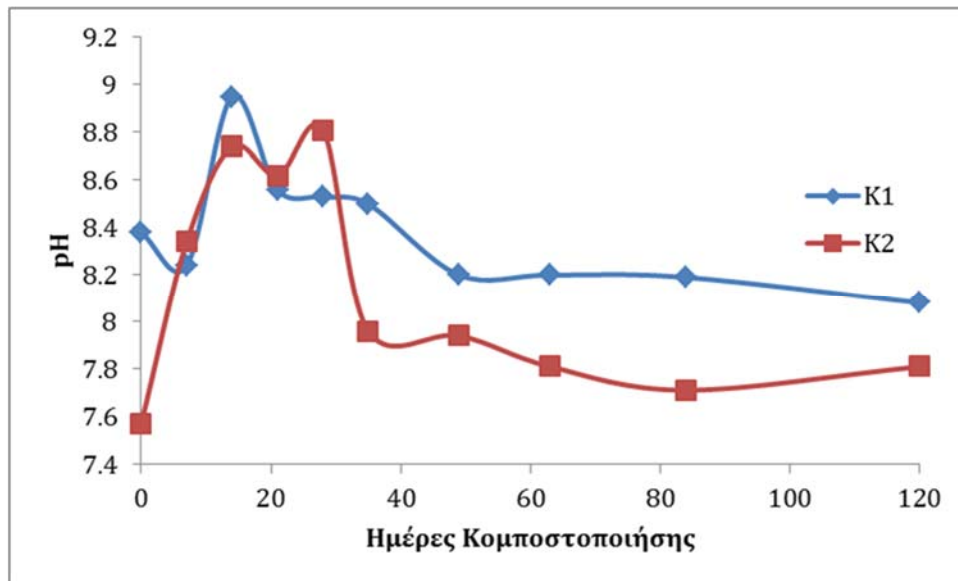
4.4 Διακύμανση pH

Στο **Γράφημα 4.4** και στον **Πίνακα 4.4** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διακύμανσης του pH στους κάδους K1 και K2 καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποιητικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, κατά τη πρώτη ημέρα μετρήσεων στον K1 το pH μετρήθηκε στο 8.38. Κατά την 7^η ημέρα το pH μειώθηκε ελαφρώς (8.24), ενώ κατά 14^η ημέρα το pH έφτασε στη μέγιστη του τιμή (8.95). Από την 14^η ημέρα και μετά το pH ξεκίνησε να μειώνεται συνεχώς μέχρι και την 49^η ημέρα. Από την 49^η ημέρα, ξεκίνησε να σταθεροποιείται και να παίρνει τελικά τη τιμή 8.08 την 120^η ημέρα (**Πίνακας 4.4**).

Αντίστοιχα βλέπουμε τη πορεία διακύμανσης του pH στον K2. Συγκεκριμένα, τη πρώτη ημέρα το pH μετρήθηκε στο 7.57 ακολουθώντας έπειτα αυξητική πορεία μέχρι και την 14^η ημέρα (8.74), μια μικρή μείωση κατά την 21^η ημέρα (8.62), ενώ κατά την 28^η ημέρα το pH παίρνει τη μέγιστη του τιμή (8.81). Από την 28^η ημέρα και μέχρι την 35^η ημέρα το pH ακολουθεί πτωτική πορεία, ενώ από την 35^η ημέρα και μέχρι την 84^η ημέρα το pH σταθεροποιείται και με μια μικρή διακύμανση παίρνει την τιμή 7.81 την 120^η ημέρα (**Πίνακας 4.4**).

Πίνακας 4.4: Καταγραφή του pH στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	8.38	7.57
7	8.24	8.34
14	8.95	8.74
21	8.56	8.62
28	8.53	8.81
35	8.5	7.96
49	8.2	7.94
63	8.2	7.81
84	8.19	7.71
120	8.08	7.81



Γράφημα 4.4: Διακύμανση του pH συναρτήσει του χρόνου.

4.5 Διακύμανση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

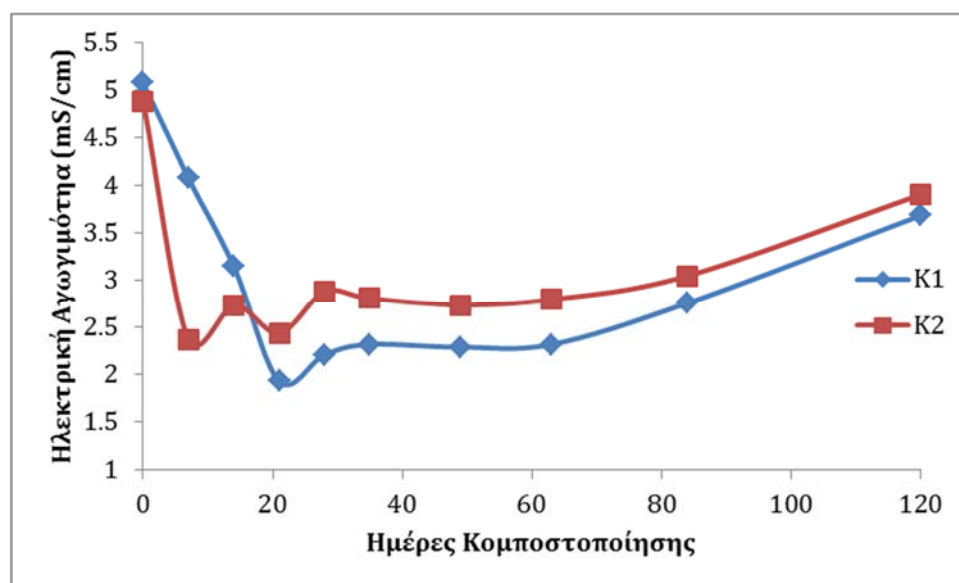
Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.5** και τον **Πίνακα 4.5** η ηλεκτρική αγωγιμότητα στον K1 αρχίζει κατά την πρώτη μέτρηση με τη μέγιστη της τιμή (5.08 mS/cm) καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Στη συνέχεια, από την 7^η ημέρα μέχρι και την 21^η ημέρα η ηλεκτρική αγωγιμότητα πέφτει κατακόρυφα και παίρνει την 21^η ημέρα την ελάχιστη της τιμή καθ' όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης (1.93 mS/cm). Από την 21^η ημέρα εως και την 63^η ημέρα η ηλεκτρική αγωγιμότητα βρίσκεται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο, την 84^η ημέρα αυξάνεται ελαφρώς (2.76 mS/cm), ενώ κατά την τελευταία ανάλυση την 120^η ημέρα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε στο 3.69 mS/cm (**Πίνακας 4.5**).

Επίσης, βάση του **Γραφήματος 4.5**, η ηλεκτρική αγωγιμότητα στον K2 αρχίζει σχεδόν από ίδιο σημείο (4.89 mS/cm), όπως και στον K1. Στη συνέχεια, κατά τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας την 7^η ημέρα, πήρε την ελάχιστη της τιμή κατά τη διάρκεια των 120 ημερών της κομποστοποίησης (2.37 mS/cm). Από την 14^η ημέρα μέχρι και την 28^η ημέρα μετρήσεων, η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει μια αυξομείωση, ενώ στη συνέχεια και μέχρι την 63^η ημέρα της

κομποστοποίησης οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σταθεροποιούνται. Την 84^η ημέρα παρατηρείται άνοδος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (3.05 mS/cm), καταλήγοντας την 120^η ημέρα στη τιμή 3.91 mS/cm (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5: Καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

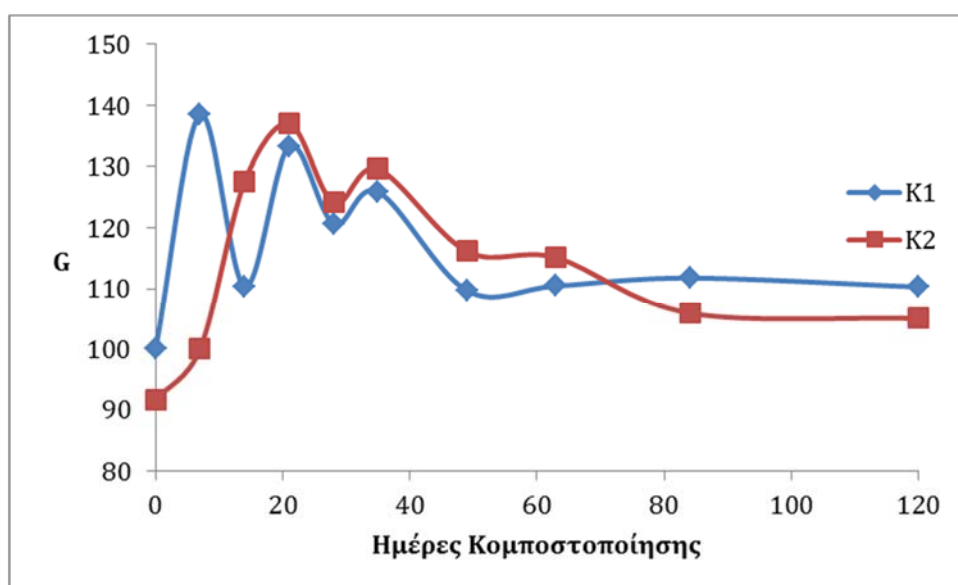
Ημέρα	K1 (mS/cm)	K2 (mS/cm)
0	5.08	4.89
7	4.08	2.37
14	3.15	2.74
21	1.93	2.44
28	2.21	2.88
35	2.32	2.81
49	2.29	2.74
63	2.32	2.8
84	2.76	3.05
120	3.69	3.91



Γράφημα 4.5: Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

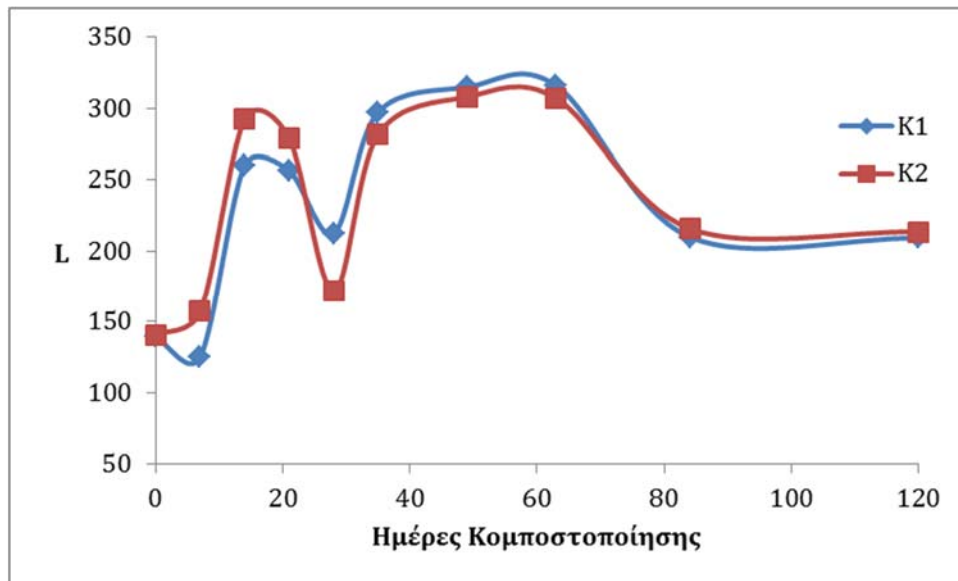
4.6 Φυτοτοξικότητα σε Τριβλία

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.6.1**, η τιμή του G κατά την πρώτη ημέρα μετρήσεων στον K1 μετρήθηκε στο 100, ενώ κατά την ίδια ημέρα η τιμή του G στον K2 μετρήθηκε στο 91.66. Αυτές ήταν και οι χαμηλότερες τιμές του G που παρατηρήθηκαν σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων της φυτοτοξικότητας και στους δυο κάδους κομποστοποίησης. Στον K1 η μέγιστη τιμή που παρουσιάζει το G είναι την 7^η ημέρα μετρήσεων (138.46), ενώ στον K2 η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται την 21^η ημέρα (137.03) (**Πίνακας 4.6**).



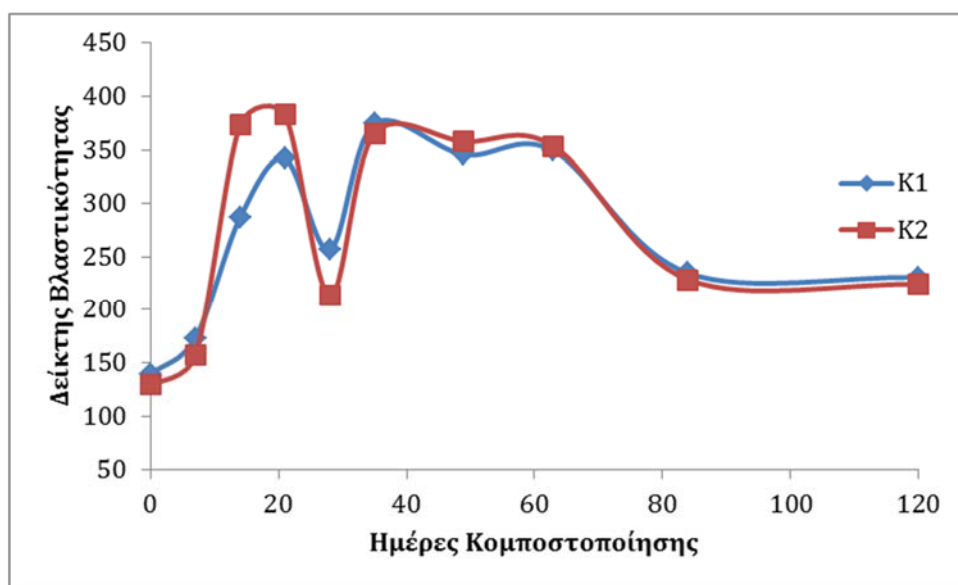
Γράφημα 4.6.1: Διακύμανση του G συναρτήση του χρόνου.

Αντίστοιχα στο **Γράφημα 4.6.2**, η τιμή του L κατά τη πρώτη ημέρα των μετρήσεων της φυτοτοξικότητας μετρήθηκε στον K1 στο 139.16 και στον K2 στο 140.93. Αυτές οι τιμές ήταν και οι χαμηλότερες που σημειώθηκαν σε όλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης και για τους δυο κάδους, ενώ η μέγιστη τιμή που σημειώθηκε για το L ήταν και στους δυο κομποστοποιητές την 63^η ημέρα, για τον K1 349.2 και για τον K2 353.49, αντίστοιχα. Από την 83^η ημέρα εως και την 120^η ημέρα, η τιμή του L σταθεροποιήθηκε και για τους δυο κάδους (**Πίνακας 4.6**).



Γράφημα 4.6.2: Διακύμανση του L συναρτήση του χρόνου.

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.6.3** ο Δείκτης Βλαστικότητα (Δ.Β) και για τους δυο κάδους ξεκινά την πρώτη ημέρα μετρήσεων από χαμηλό επίπεδο για τον K1 139.16 και για τον K2 128.99. Αναλυτικότερα ο Δ.Β στον K1 παρουσιάζει μια άνοδο από την πρώτη ημέρα μετρήσεων μέχρι και την 21^η ημέρα (372.98), παρουσιάζεται μια κάθοδος κατά την 28^η ημέρα, ενώ κατά την 35^η ημέρα παίρνει τη μέγιστη του τιμή (374.44). Από την 63^η ημέρα και μέχρι την 84^η ημέρα μετρήσεων ο Δ.Β παρουσιάζει πτώση, ενώ από την 84^η ημέρα και μέχρι την 120^η ημέρα σταθεροποιείται και παίρνει την 120^η ημέρα τη τιμή 230.99 (**Πίνακας 4.6**).



Γράφημα 4.6.3: Διακύμανση του δείκτη βλαστικότητας (Δ.Β) συναρτήση του χρόνου.

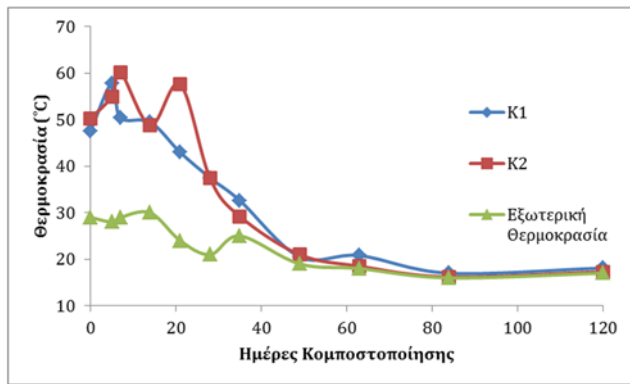
Αντίστοιχα βάση του **Γραφήματος 4.6.3**, βλέπουμε ότι στον K2 από τη πρώτη ημέρα μετρήσεων έως και την 21^η ημέρα ο Δ.Β ακολουθεί ανοδική πορεία, όπου και εκείνη την ημέρα παίρνει την μέγιστη του τιμή (382.61). Την 28^η ημέρα ο Δ.Β μειώνεται όπως και στον K1 αντίστοιχα, ενώ την 35^η ημέρα παρουσιάζει αύξηση. Από την 64^η ημέρα και μέχρι την 84^η ημέρα ο Δ.Β στον K2 ακολουθεί πτωτική πορεία, ενώ από την 84^η ημέρα και μέχρι το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης την 120^η ημέρα σταθεροποιείται παίρνοντας τη τιμή 224.46 (**Πίνακας 4.6**).

Πίνακας 4.6: Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των παραμέτρων φυτοτοξικότητας.

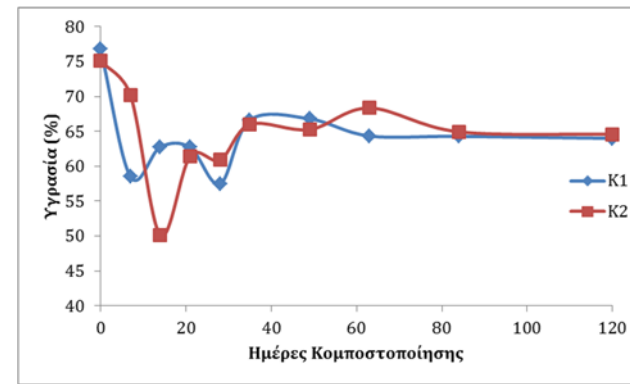
Ημέρα	G	L	Δ.Β	Κάδος
0	100	139.16	139.16	K1
	91.66	140.93	128.99	K2
7	138.46	125	173.07	K1
	100	157.03	157.03	K2
14	110.34	260	286.88	K1
	127.58	292.35	372.98	K2
21	133.3	256.49	341.9	K1

	137.03	279.22	382.61	K2
28	120.68	212.62	256.58	K1
	124.13	171.84	213.3	K2
35	125.92	297.41	374.44	K1
	129.62	281.93	365.44	K2
49	109.67	315.06	345.52	K1
	116.12	308.21	357.9	K2
63	110.45	316.17	349.2	K1
	115.1	307.12	353.49	K2
84	111.76	210.05	234.75	K1
	105.88	215.97	228.66	K2
120	110.3	209.42	230.99	K1
	105	213.78	224.46	K2

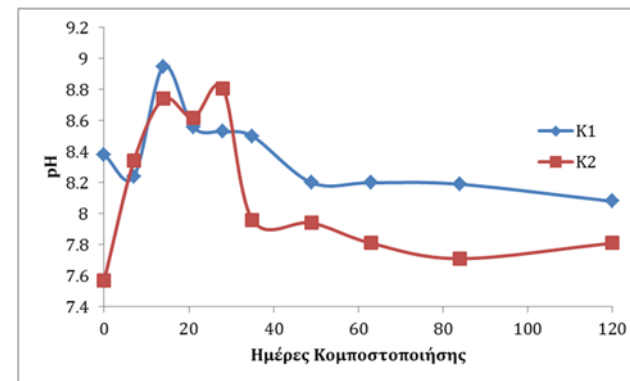
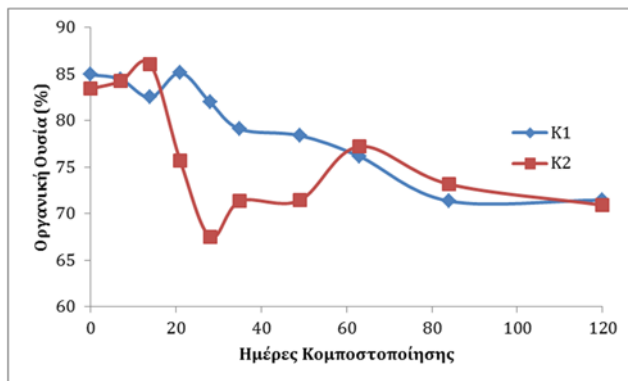
Πιο κάτω παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα γραφήματα των φυσικοχημικών παραμέτρων που εξεταστήκαν.



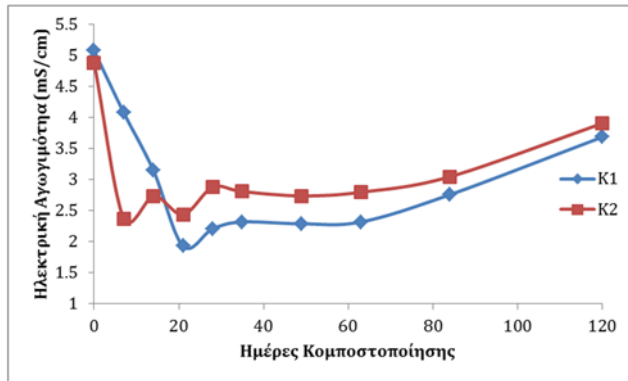
Γράφημα 4.1: Διακύμανση των θερμοκρασιών συναρτήση του χρόνου.



Γράφημα 4.2: Διακύμανση της περιεχόμενης υγρασίας συναρτήση του χρόνου.

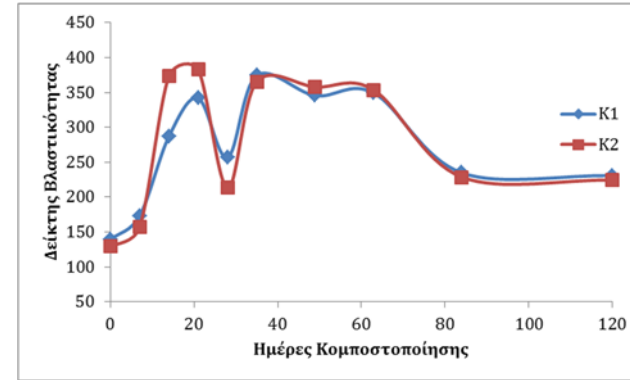


Γράφημα 4.3: Διακύμανση της οργανικής ουσίας συναρτήση του χρόνου.



Γράφημα 4.5: Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Γράφημα 4.4: Διακύμανση του pH συναρτήση του χρόνου.



Γράφημα 4.6.3: Διακύμανση του δείκτη βλαστικότητας (Δ.Β) συναρτήση του χρόνου.

4.7 Ποιοτικά Αποτελέσματα Π.Ο.Ε

Στον Πίνακα 4.7.1 παρουσιάζονται οι 50 Π.Ο.Ε με τους χρόνους ανάσχεσης τους με τις μεγαλύτερες κορυφές στα χρωματογραφήματα.

Πίνακας 4.7.1: Οι χρόνοι ανάσχεσης και οι Π.Ο.Ε που ανιχνεύτηκαν στον Κ1 και Κ2.

Χρόνος Ανάσχεσης (Rt, min)	Ουσία	K1	K2
8.114	1,3-Pentadiene	✓	
8.121	1,2 Butadiene, 3-methyl		✓
9.102	Dimethyl sulfide	✓	✓
9.833	Acetic acid, methyl ester	✓	✓
13.028	Furan, 2-methyl	✓	✓
13.651	2,3-Butanedione	✓	
14.152	Ethyl Acetate	✓	✓
15.048	Methyl propionate		✓
16.287	1-Propanol, 2-methyl		✓
17.118	Acetic acid	✓	✓
18.285	Furan, 2-ethyl	✓	✓
18.565	Furan, 2,5- dimethyl		✓
18.98	2-Pentanone	✓	✓
19.324	Propanoic acid, ethyl ester	✓	✓
19.997	Butanoic acid, methyl ester	✓	✓
21.619	Disulfide, dimethyl	✓	✓
21.989	3-Buten-1-ol, 3-methyl	✓	✓
22.354	Toluene	✓	✓
24.037	Butanoic acid, ethyl ester	✓	✓
27.676	Nonane	✓	✓
28.178	Cyclopropane, isothiocyanato	✓	✓
28.335	3-Hexen-1-ol (Z)-	✓	✓
28.493	3-Methyl-3-buten-1-ol, acetate	✓	
28.693	1-Hexanol	✓	✓
29.159	Styrene	✓	✓
29.274	2-Furan-methanol	✓	
29.532	2-Heptanone		✓
29.718	Allyl Isothiocyanate	✓	
30.219	alpha-Pinene	✓	✓
31.953	1,6-Heptadiene,2,5,5-trimethyl	✓	
32.39	Cyclohexene,4-methyl-1(1-methylethyl)-	✓	
32.597	beta-Pinene	✓	✓

32.74	1,5-Heptadiene,3,3,5-trimethyl	✓	
33.643	beta-Pinene	✓	✓
33.715	3-Carene	✓	
33.93	Benzaldehyde	✓	✓
34.316	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	✓	
34.732	D-Limonene	✓	✓
34.897	p-Cymene	✓	✓
35.047	beta-Phellandrene	✓	✓
35.212	beta-Ocimene	✓	
35.699	2-Carene	✓	
35.921	gamma-Terpinene	✓	✓
37.375	Cyclohexene, 4-methyl-3(1-methylethylidene)-	✓	
37.833	Benzyl alcohol	✓	✓
37.984	Benzene, 1-methyl-4(1-methylethenyl)-	✓	✓
38.908	2,4,6-Octatriene, 3,4-dimethyl	✓	✓
39.603	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-,(E,Z)-	✓	✓
40,520	Benzene, pentyl-	✓	✓
43.163	alpha-Terpineol	✓	✓

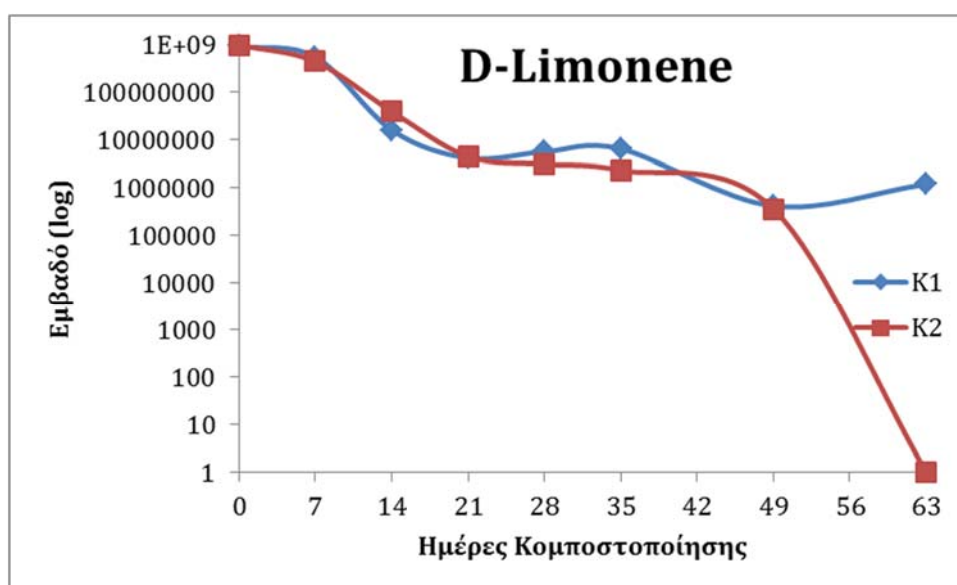
Οι Π.Ο.Ε των οποίων τα εμβαδά τους ολοκληρώθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κομποστοποίησης στους κάδους K1 και K2 ήταν:

1) **D-Limonene**

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.7.1** κατά την 1^η ημέρα μετρήσεων το D-Limonene παίρνει τη μέγιστη του τιμή και στους δυο κάδους κομποστοποίησης, για τον K1 το εμβαδό ήταν 935667601 και για K2 992260506. Από την 1^η μέτρηση και μέχρι την 21^η ημέρα της διαδικασίας κομποστοποίησης παρατηρήθηκε μείωση του D-Limonene τόσο στον K1 και όσο στον K2. Αυτή η μείωση συνεχίστηκε στον K2 εως και την τελευταία ημέρα μετρήσεων των εμβαδών την 63^η ημέρα οπού παίρνει την ελάχιστη του τιμή 0. Στον K1 από την 28^η ημέρα μέχρι και την 35^η ημέρα παρατηρήθηκε αύξηση στο εμβαδό του D-Limonene, ενώ την 43^η ημέρα μετρήθηκε η ελάχιστη του τιμή που ήταν 422390 (**Πίνακας 4.7.2**).

Πίνακας 4.7.2: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης D-Limonene στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	935667601	992260506
7	552658311	443542412
14	16150055	39718198
21	4199724	4547583
28	5707651	3145091
35	6530180	2348909
49	422390	363519
63	1202666	0



Γράφημα 4.7.1: Διακύμανση του D-Limonene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

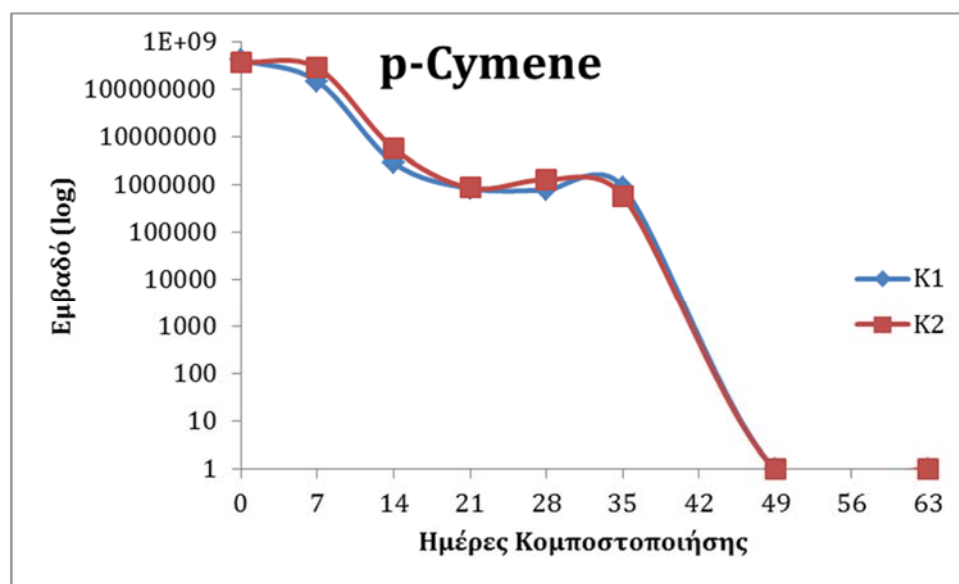
2) p-Cymene

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.7.2**, την 1^η ημέρα μετρήσεων το εμβαδό της ένωσης p-Cymene τόσο στον K1 όσο και στον K2 παίρνει την μέγιστη του τιμή. Στον K1 το εμβαδό ήταν 433173377 ενώ στον K2 385115101. Μετά την 1^η ημέρα μέχρι και την 21^η ημέρα της διαδικασίας κομποστοποίησης το εμβαδό τόσο στον K1 όσο και στον K2 παρουσιάζει μείωση. Αυτή η μείωση συνεχίζεται στον K1 και την 28^η ημέρα (792328), ενώ στον K2 κατά την 28^η ημέρα παρατηρείται αύξηση στο εμβαδό του p-Cymene (1297814). Κατά την 28^η ημέρα το εμβαδό παίρνει την ελάχιστη του τιμή (792328) στον K1 ενώ, στον K2

παίρνει την ελάχιστη του τιμή την 35^η ημέρα (597848). Κατά την 49^η ημέρα τόσο στον K1 όσο και στον K2 το εμβαδό μηδενίζεται και συνεχίζει έτσι μέχρι και το τέλος των μετρήσεων την 63^η ημέρα (**Πίνακας 4.7.3**).

Πίνακας 4.7.3: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης p-Cymene στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	433173377	385115101
7	151308301	290625100
14	2946090	5799806
21	858776	874768
28	792328	1297814
35	927266	597848
49	0	0
63	0	0



Γράφημα 4.7.2: Διακύμανση του p-Cymene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

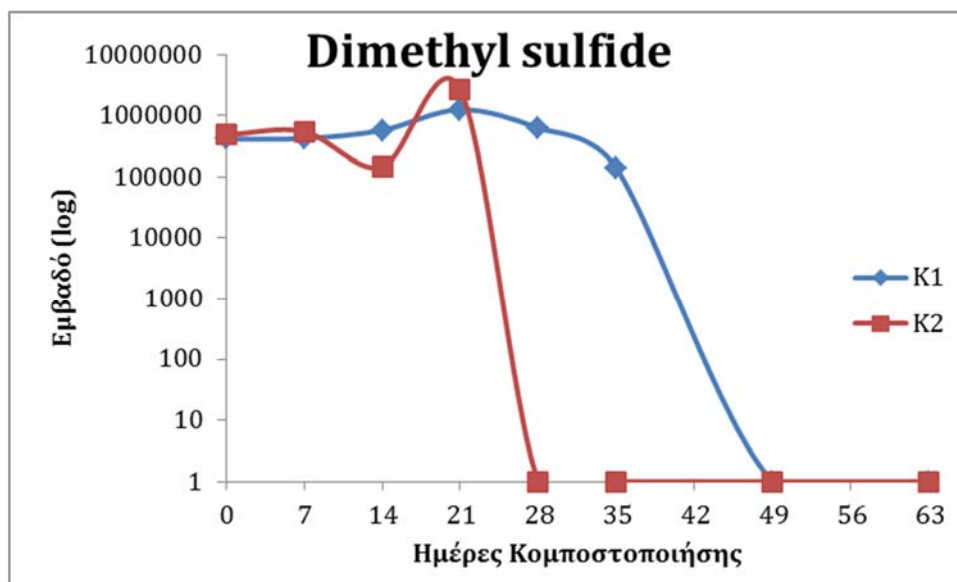
3) Dimethyl sulfide

Σύμφωνα με το **Γράφημα 4.7.3** κατά την 1^η ημέρα μετρήσεων, το εμβαδό του Dimethyl sulfide στον K1 ήταν 415977. Η μέγιστη τιμή του εμβαδού στον K1

σημειώθηκε την 21^η ημέρα (1254599), ενώ η ελάχιστη του τιμή σημειώθηκε την 35^η ημέρα της διαδικασίας της κομποστοποίησης και ήταν 138454 (Πίνακας 4.7.4). Στον K2 το εμβαδό του Dimethyl sulfide κατά την 1^η ημέρα μετρήσεων ήταν 487179. Η μέγιστη τιμή σημειώθηκε κατά την 21^η ημέρα (2637419) και η ελάχιστη τιμή (145540) την 14^η ημέρα της διαδικασίας κομποστοποίησης.

Πίνακας 4.7.4: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης Dimethyl sulfide στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	415977	487179
7	424560	551852
14	578701	145540
21	1254599	2637419
28	628410	0
35	138454	0
49	0	0
63	0	0



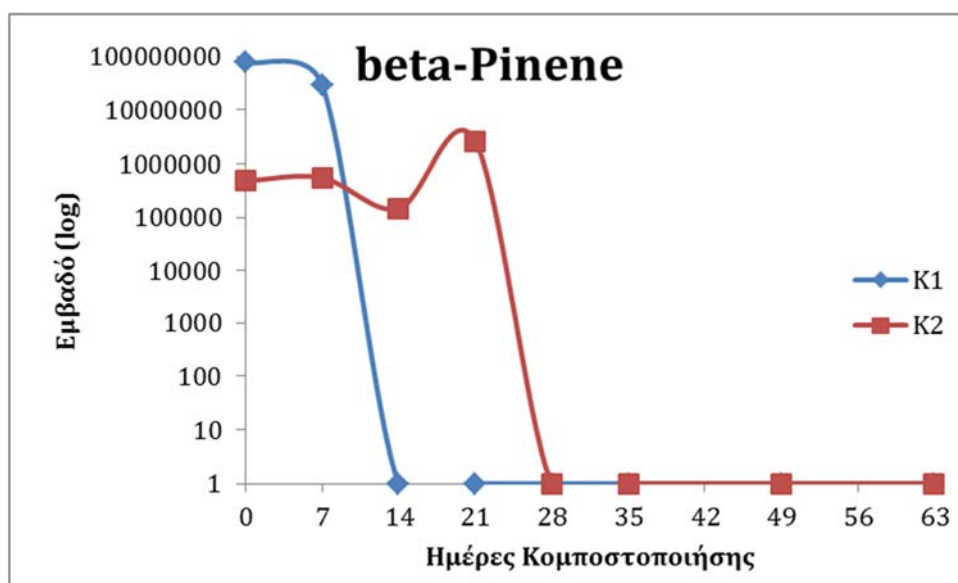
Γράφημα 4.7.3: Διακύμανση του Dimethyl sulfide κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

4) beta-Pinene

Βάση του **Γραφήματος 4.7.4** παρατηρείται ότι στον K1 το εμβαδό της ένωσης beta-Pinene κατά την 1^η μέτρηση, ξεκίνα με την μέγιστη του τιμή (77982273) καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας κομποστοποίησης, ενώ κατά την 7^η ημέρα το εμβαδό μειώνεται (29994217) και μηδενίζεται κατά την 14^η ημέρα παραμένοντας έτσι μέχρι το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης (**Πίνακας 4.7.5**). Επίσης, βάση του **Γραφήματος 4.7.4**, παρατηρείται ότι στον K2 το εμβαδό κατά την 1^η μέτρηση αρχίζει χαμηλότερα (487179) από ότι στον K1, ενώ η μέγιστη του τιμή παρατηρείται κατά την 21^η ημέρα (2637419) και η ελάχιστη του τιμή κατά την 14^η ημέρα (145540). Από την 28^η ημέρα το εμβαδό μηδενίζεται και παραμένει έτσι μέχρι και το τέλος των μετρήσεων την 63^η ημέρα (**Πίνακας 4.7.5**).

Πίνακας 4.7.5: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης beta-Pinene στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	Κάδος_1	Κάδος_2
0	77982273	487179
7	29994217	551852
14	0	145540
21	0	2637419
28	0	0
35	0	0
49	0	0
63	0	0



Γράφημα 4.7.4: Διακύμανση του beta-Pinene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

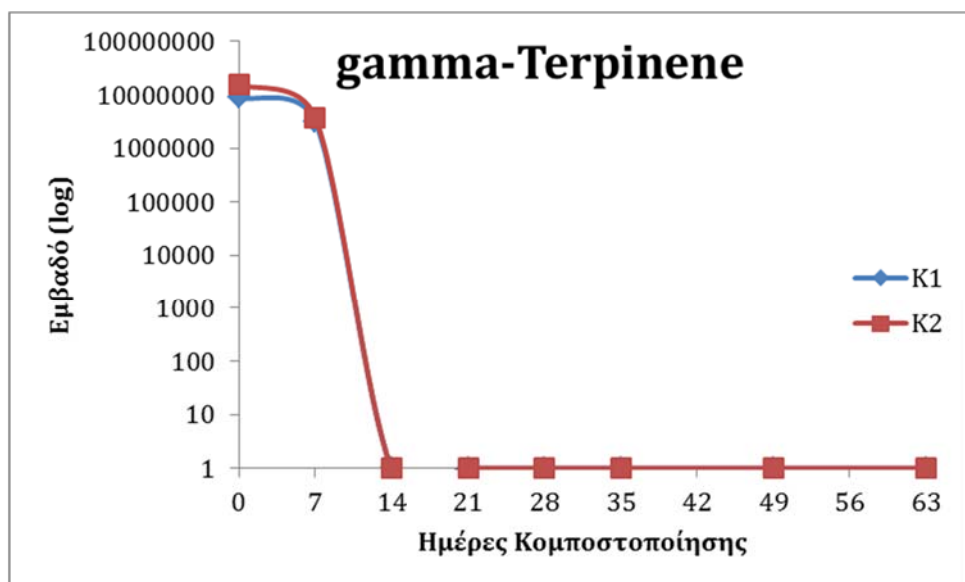
5) gamma-Terpinene

Βάση του **Γραφήματος 4.7.5**, το εμβαδό της ένωσης gamma-Terpinene στον K1 αρχίζει κατά την 1^η μέτρηση με τη μέγιστη του τιμή (8868939) και στη συνέχεια μειώνεται κατά την 7^η ημέρα (3099493), ενώ κατά την 14^η ημέρα μηδενίζεται συνεχίζοντας έτσι μέχρι και το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης. Στον K2 το εμβαδό αρχίζει κατά την 1^η μέτρηση με την μέγιστη του τιμή (15510911), που είναι μεγαλύτερη από τη τιμή του K1 (**Γράφημα 4.7.5**). Κατά την 7^η ημέρα το εμβαδό μειώνεται (3704620) και κατά την 14^η ημέρα μηδενίζεται συνεχίζοντας έτσι μέχρι και το τέλος της διαδικασίας την 63^η ημέρα (**Πίνακας 4.7.6**).

Πίνακας 4.7.6: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης gamma-Terpinene στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	Κάδος_1	Κάδος_2
0	8868939	15510911
7	3099493	3704620
14	0	0
21	0	0

28	0	0
35	0	0
49	0	0
63	0	0



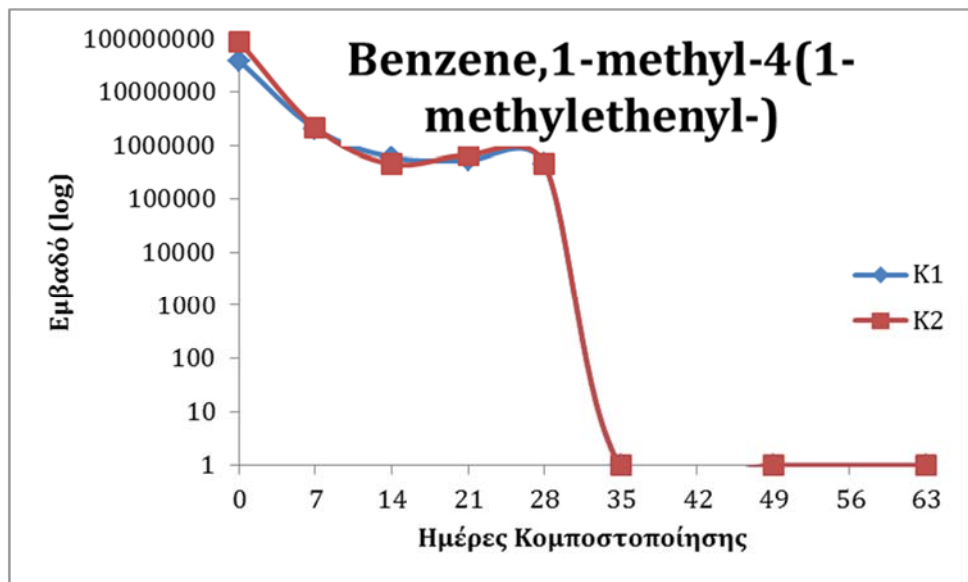
Γράφημα 4.7.5: Διακύμανση του gamma-Terpinene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

6) Benzene,1-methyl-4(1-methylethenyl-)

Βάση του **Γραφήματος 4.7.6** παρατηρείται ότι το εμβαδό της ένωσης Benzene,1-methyl-4(1-methylethenyl-) στον K1 ξεκινά αρχικά κατά την 1^η μέτρηση με την μέγιστη του τιμή (38613629), ενώ το ίδιο παρατηρείται και στον K2 (88583140) όμως με μεγαλύτερο εμβαδό από ότι στον K1. Μετά τη 1^η μέτρηση το εμβαδό ακολουθεί την ίδια πτωτική πορεία τόσο στον K1 όσο και στον K2, ενώ κατά την 35^η ημέρα το εμβαδό μηδενίζεται και παραμένει έτσι μέχρι και το τέλος των μετρήσεων. Η ελάχιστη τιμή του εμβαδού παρατηρείται την 28^η ημέρα τόσο στον K1 (442810) όσο και για στον K2 (447999) (**Πίνακας 4.7.7**).

Πίνακας 4.7.7: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης Benzene,1-methyl-4(1-methylethenyl-) στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημερομηνία	K1	K2
0	38613629	88583140
7	2037240	2178379
14	601722	449395
21	518001	658868
28	442810	447999
35	0	0
49	0	0
63	0	0



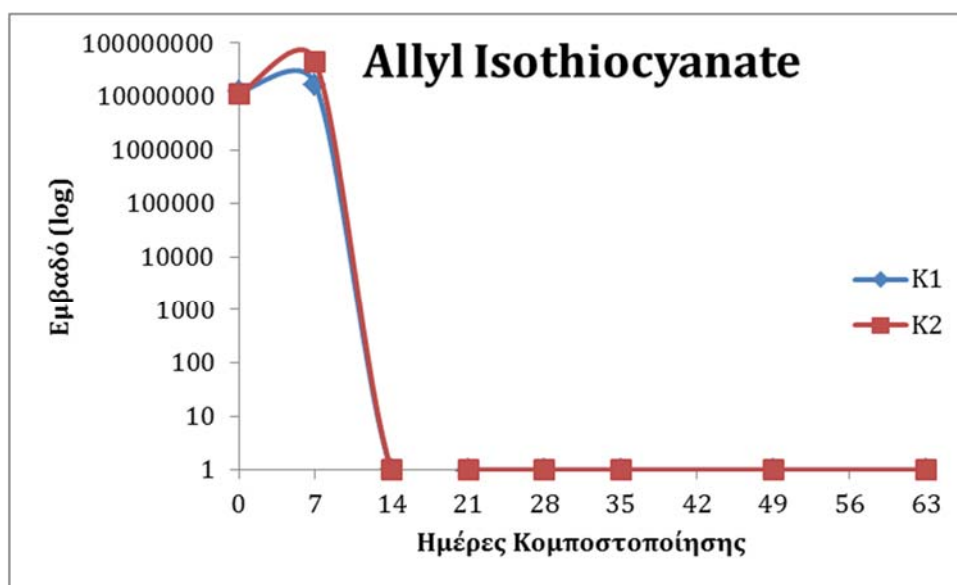
Γράφημα 4.7.6: Διακύμανση του Benzene,1-methyl-4(1-methylethenyl-) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

7) Allyl Isothiocyanate

Βάση του **Γραφήματος 4.7.7** το εμβαδό της ένωσης Allyl Isothiocyanate τόσο στον K1 (12163268) όσο και στον K2 (11036061) ξεκινά με την ελάχιστη του τιμή, ενώ κατά την 7^η ημέρα παίρνει τη μέγιστη του τιμή και στους δυο κάδους κομποστοποίησης, για τον K1 16625736 και στον K2 44839838. Από την 14^η ημέρα και μέχρι το τέλος των μετρήσεων την 63^η ημέρα το εμβαδό μηδενίζεται (**Πίνακας 4.7.8**).

Πίνακας 4.7.8: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης Allyl Isothiocyanate στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	12163268	11036061
7	16625736	44839838
14	0	0
21	0	0
28	0	0
35	0	0
49	0	0
63	0	0



Γράφημα 4.7.7: Διακύμανση του Allyl Isothiocyanate κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

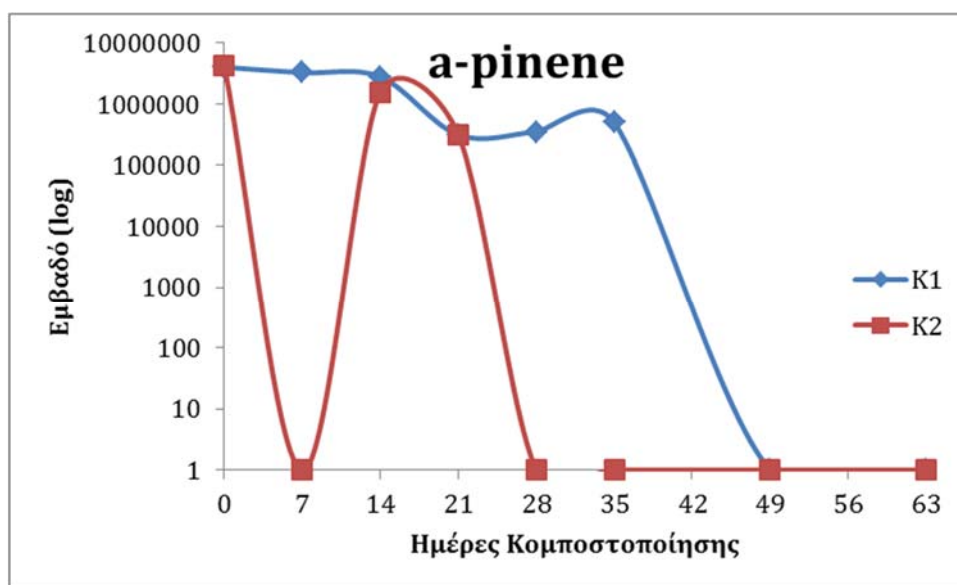
8) *α-pinene*

Βάση του **Γραφήματος 4.7.8** το εμβαδό της ένωσης *α-pinene* τόσο στον κάδο K1 όσο και στον K2 ξεκινά από την μέγιστη του τιμή, για τον K1 4026666 και για τον K2 4243772. Κατά την 7^η ημέρα μετρήσεων το εμβαδό στον K1 είναι μικρότερο (3274809) από την 1^η ημέρα μετρήσεων, ενώ στον K2 το εμβαδό μηδενίζεται. Κατά την 14^η ημέρα και μέχρι την 21^η ημέρα το εμβαδό του K1 όσο

και του K2 ακολούθου παρόμοια πορεία. Κατά την 28^η ημέρα το εμβαδό στον K2 μηδενίζεται και συνεχίζει έτσι μέχρι την 63^η ημέρα, ενώ στον K1 μετρήθηκε εμβαδό από την 28^η μέχρι και την 35^η ημέρα και από τη ημέρα αυτή και μετά μηδενίζεται και παραμένει έτσι μέχρι το τέλος των μετρήσεων (Πίνακας 4.7.9).

Πίνακας 4.7.9: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης α -pinene στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	4026666	4243772
7	3274809	0
14	2799014	1529241
21	312707	316864
28	351483	0
35	497328	0
49	0	0
63	0	0



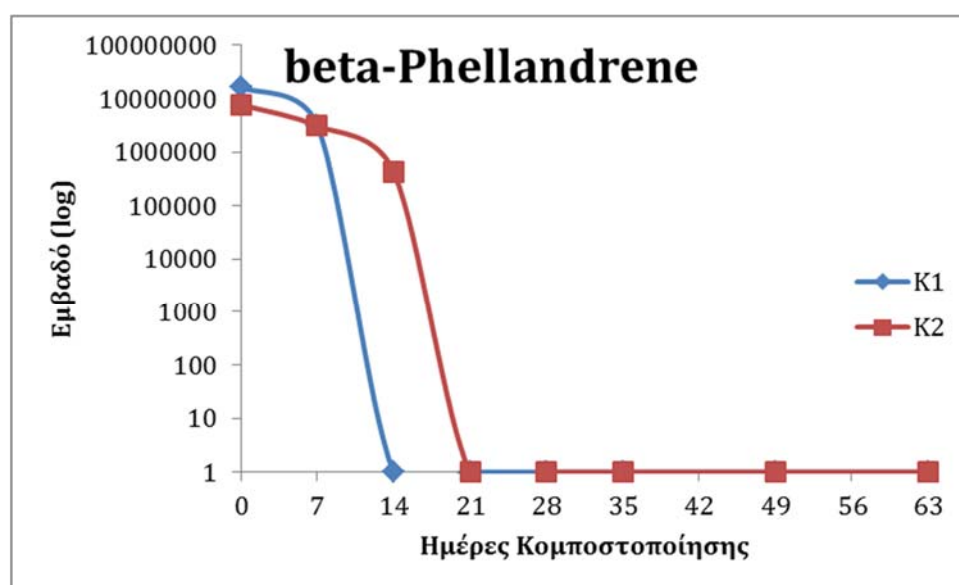
Γράφημα 4.7.8: Διακύμανση του α -pinene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

9) beta-Phellandrene

Κατά την 1^η ημέρα μετρήσεων (Γράφημα 4.7.9) το εμβαδό της ένωσης beta-Phellandrene τόσο στον K1 όσο και στον K2 ξεκίνα με την μέγιστη του τιμή, για τον K1 (16363142) και για τον K2 (7692727). Στη συνέχεια, κατά την 7^η ημέρα μετρήσεων το εμβαδό μειώνεται και στους δυο κάδους κομποστοποίησης. Κατά την 14^η ημέρα μετρήσεων, το εμβαδό μηδενίζεται στον K1 ενώ στον K2 συνεχίζει και την 14^η ημέρα και μηδενίζεται κατά την 21^η ημέρα, συνεχίζοντας έτσι μέχρι και το τέλος των μετρήσεων (Πίνακας 4.7.10).

Πίνακας 4.7.10: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης beta-Phellandrene στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	16363142	7692727
7	3115306	3050739
14	0	423497
21	0	0
28	0	0
35	0	0
49	0	0
63	0	0



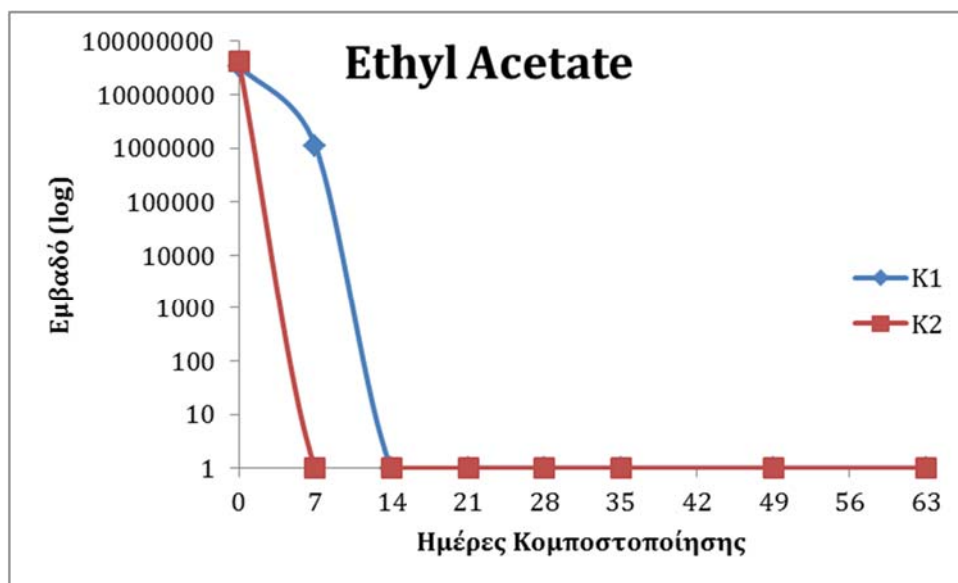
Γράφημα 4.7.9: Διακύμανση του beta-Phellandrene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

10) Ethyl Acetate

Σύμφωνα με το **Γράφημα 4.7.10** τόσο στον K1 όσο και στον K2 το εμβαδό της ένωσης Ethyl Acetate κατά την 1^η ημέρα μετρήσεων αρχίζει με τη μέγιστη του τιμή, για τον K1 (34489059) και για τον K2 (41150213). Στη συνέχεια, κατά την 7^η ημέρα μετρήσεων το εμβαδό στον K1 μειώνεται (1093403), ενώ στον K2 το εμβαδό μηδενίζεται. Κατά την 14^η ημέρα μηδενίζεται και το εμβαδό στον K1 παραμένοντας έτσι και στους δυο κάδους μέχρι και το τέλος των μετρήσεων (**Πίνακας 4.7.11**).

Πίνακας 4.7.11: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης Ethyl Acetate στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	34489059	41150213
7	1093403	0
14	0	0
21	0	0
28	0	0
35	0	0
49	0	0
63	0	0



Γράφημα 4.7.10: Διακύμανση του Ethyl Acetate κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

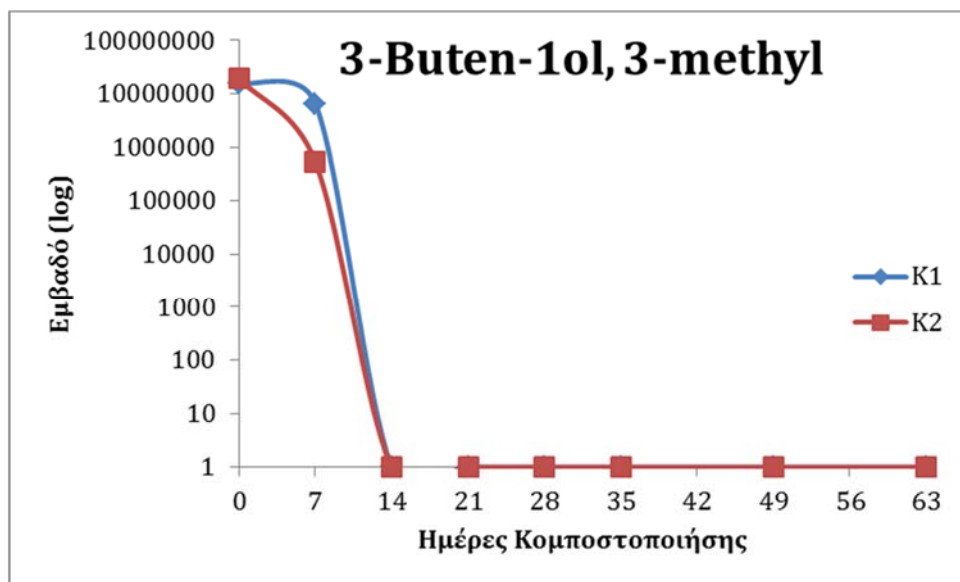
11) 3-Buten-1ol,3-methyl

Βάση του **Γραφήματος 4.7.11** το εμβαδό την ένωσης 3-Buten-1ol,3-methyl, τόσο στον K1 όσο και στον K2 ξεκίνα με τη μέγιστη του τιμή, για τον K1 (15769781) και για τον K2 (19244854). Κατά την 7^η ημέρα μετρήσεων το εμβαδό και στους δυο κάδους μειώνεται, για τον K1 (6535758) και για τον K2 (529144), ενώ κατά την 14^η ημέρα το εμβαδό και στους δυο κάδους κομποστοποίησης μηδενίζεται συνεχίζοντας έτσι μέχρι και το τέλος των μετρήσεων (**Πίνακας 4.7.12**).

Πίνακας 4.7.12: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης 3-Buten-1ol,3-methyl στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	15769781	19244854
7	6535758	529144
14	0	0
21	0	0
28	0	0

35	0	0
49	0	0
63	0	0



Γράφημα 4.7.11: Διακύμανση του 3-Buten-1ol,3-methyl κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

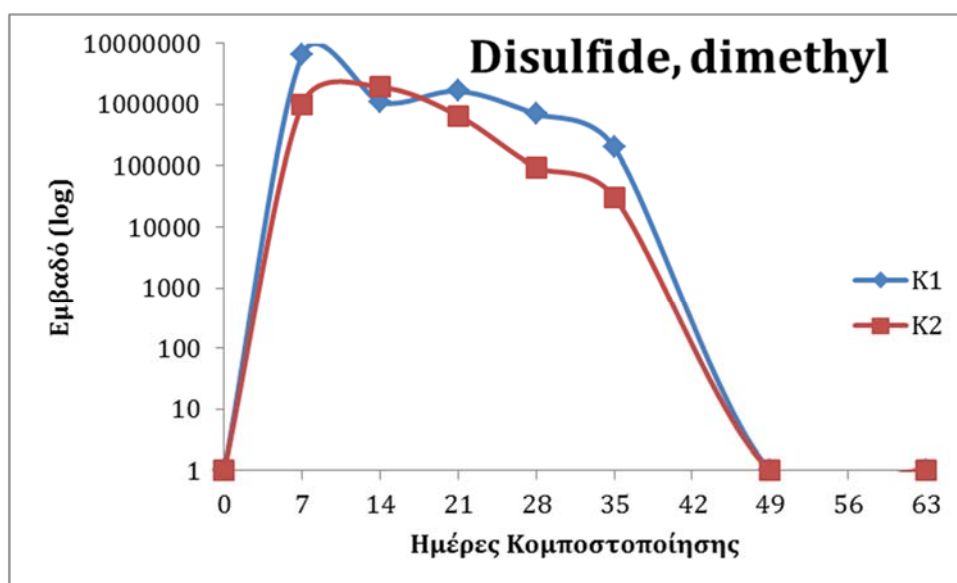
12) Disulfide, dimethyl

Σύμφωνα με το **Γράφημα 4.7.12** το εμβαστό της ένωσης Disulfide, dimethyl ήταν μηδέν και στους δυο κάδους κομποστοποίησης κατά την 1^η ημέρα μετρήσεων ξεκινώντας να παίρνει τιμές κατά 7^η ημέρα μετρήσεων, για τον K1 (6519599) και για τον K2 (1010446). Για τον K1 η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε την 7^η ημέρα ενώ στον K2 την 14^η ημέρα (1929026). Στη συνέχεια, το εμβαστό κατέγραψε πτωτική πορεία με πιο αυξημένες όμως τις τιμές στον K1, ενώ κατά την 49^η ημέρα το εμβαστό μηδενίζεται τόσο στον K1 όσο και στον K2 παραμένοντας έτσι μέχρι το τέλος των μετρήσεων (**Πίνακας 4.7.13**).

Πίνακας 4.7.13: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαστών της ένωσης Disulfide, dimethyl στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	0	0

7	6519599	1010446
14	1090290	1929026
21	1662104	656974
28	694295	94463
35	197839	30981
49	0	0
63	0	0



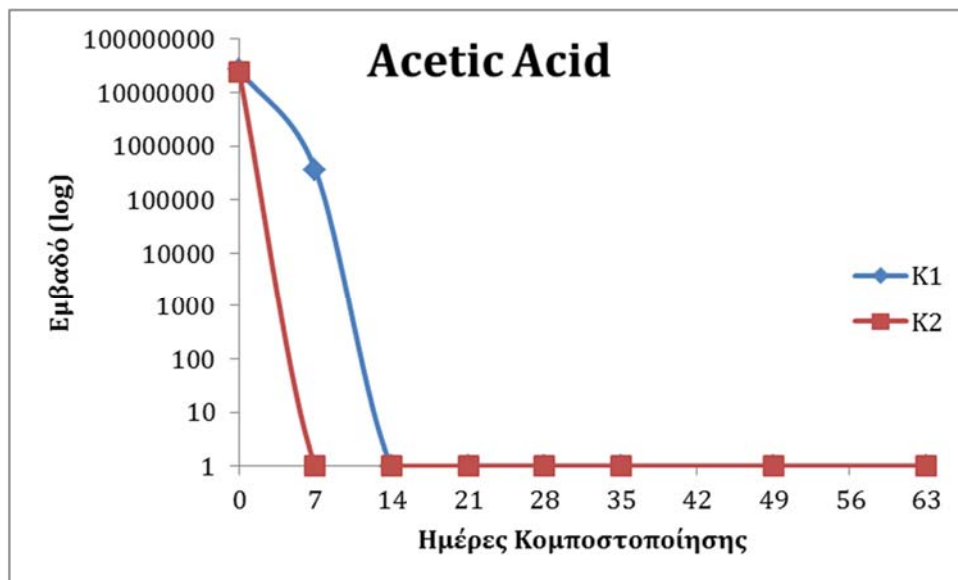
Γράφημα 4.7.12: Διακύμανση του Disulfide, dimethyl κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

13) Acetic Acid

Σύμφωνα με το **Γράφημα 4.7.13** το εμβαδό της ένωσης Acetic Acid τόσο στον κάδο K1 όσο και στον K2 ξεκίνα με την μέγιστη του τιμή, για τον K1 (26544994) και για τον K2 (24545828). Στη συνέχεια, κατά την 7^η ημέρα μετρήσεων το εμβαδό στον K1 καταγράφει πτωτική πορεία (358785), ενώ στον K2 το εμβαδό μηδενίζεται. Από την 14^η ημέρα και μέχρι το τέλος της διαδικασίας μετρήσεων την 63^η ημέρα το εμβαδό και στους δυο κάδους ήταν μηδέν (**Πίνακας 4.7.14**).

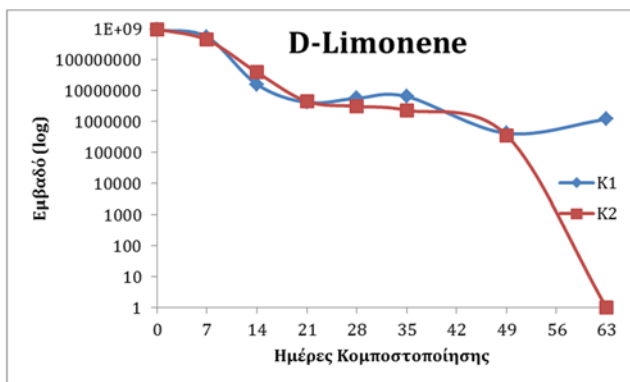
Πίνακας 4.7.14: Αποτελέσματα της μέτρησης των εμβαδών της ένωσης Acetic Acid στους δυο κάδους κομποστοποίησης.

Ημέρα	K1	K2
0	26544994	24545828
7	358785	0
14	0	0
21	0	0
28	0	0
35	0	0
49	0	0
63	0	0

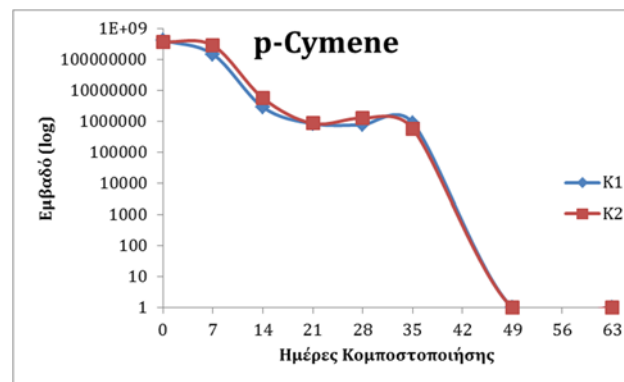


Γράφημα 4.7.13: Διακύμανση του Acetic Acid κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

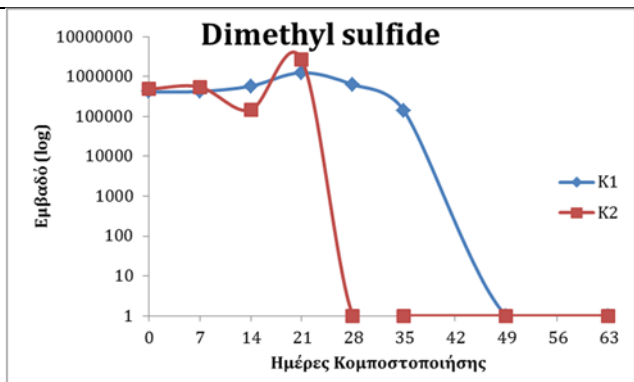
Πιο κάτω παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα γραφήματα των εμβαδών των 13^{ων} ΠΟΕ με τις μεγαλύτερες κορυφές που ανιχνεύτηκαν στον K1 και K2.



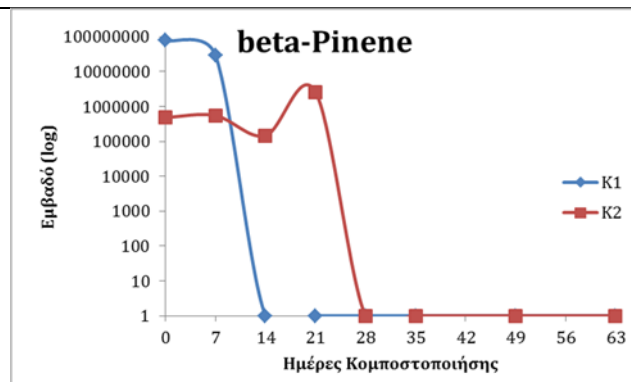
Γράφημα 4.7.1: Διακύμανση του D-Limonene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



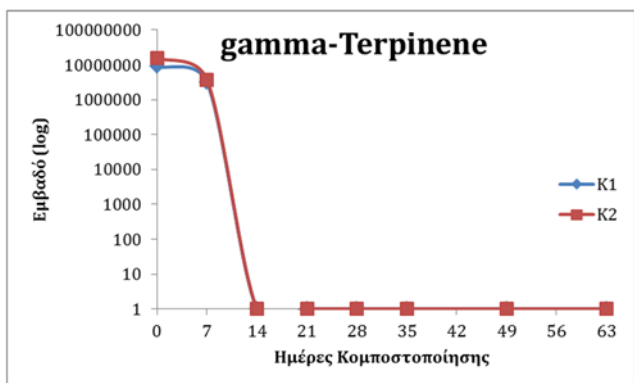
Γράφημα 4.7.2: Διακύμανση του p-Cymene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



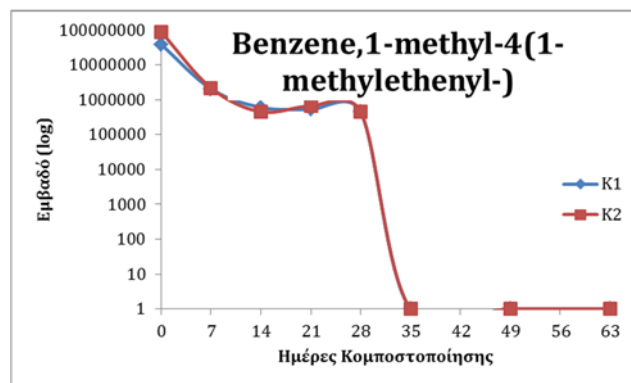
Γράφημα 4.7.3: Διακύμανση του Dimethyl sulfide κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



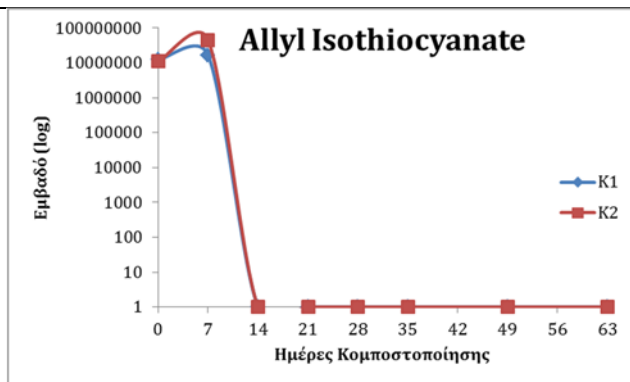
Γράφημα 4.7.4: Διακύμανση του beta-Pinene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



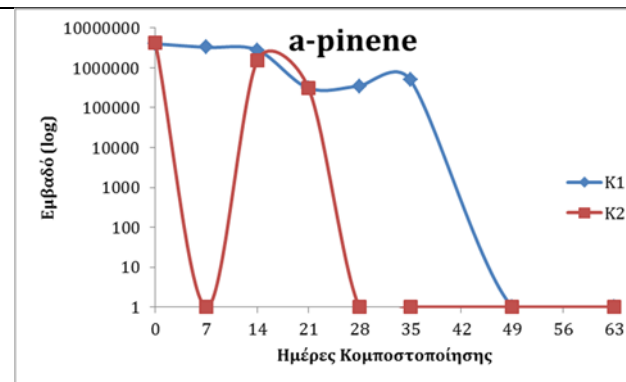
Γράφημα 4.7.5: Διακύμανση του gamma-Terpinene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



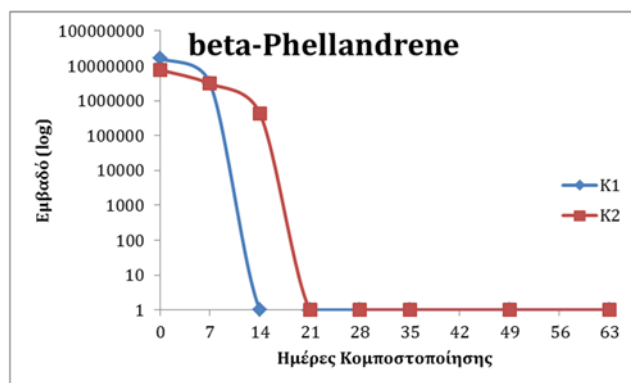
Γράφημα 4.7.6: Διακύμανση του Benzene,1-methyl-4(1-methylethenyl-) κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



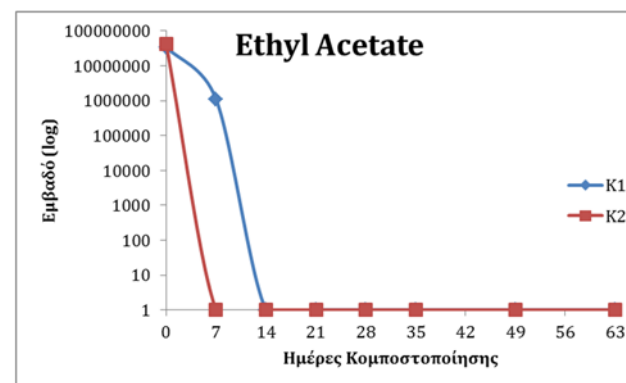
Γράφημα 4.7.7: Διακύμανση του Allyl Isothiocyanate κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



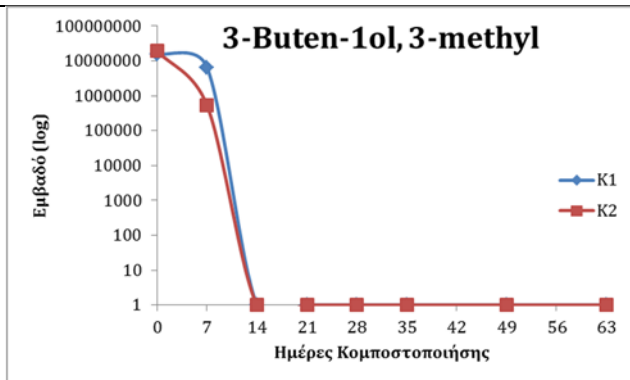
Γράφημα 4.7.8: Διακύμανση του alpha-pinene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



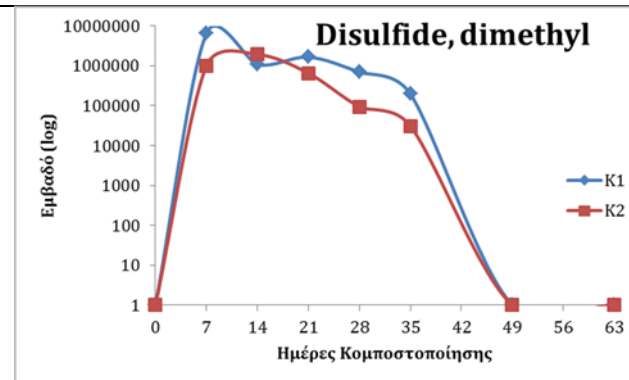
Γράφημα 4.7.9: Διακύμανση του beta-Phellandrene κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



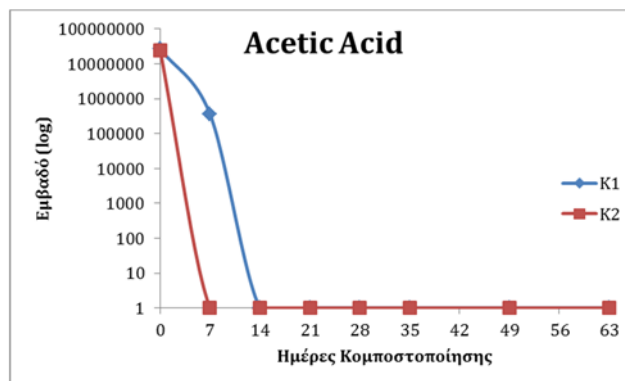
Γράφημα 4.7.10: Διακύμανση του Ethyl Acetate κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



Γράφημα 4.7.11: Διακύμανση του 3-Buten-1ol,3-methyl κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



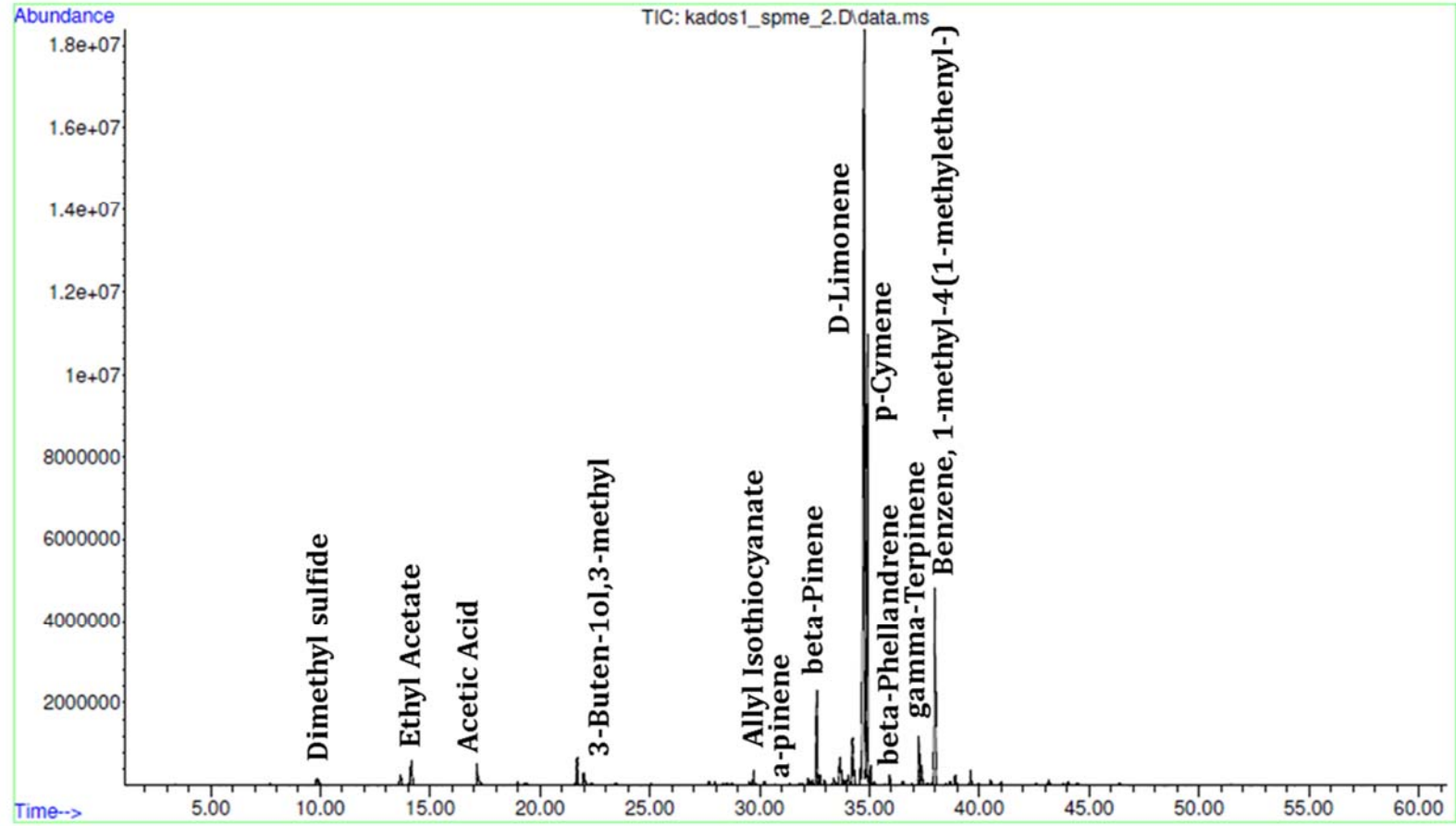
Γράφημα 4.7.12: Διακύμανση του Disulfide, dimethyl κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.



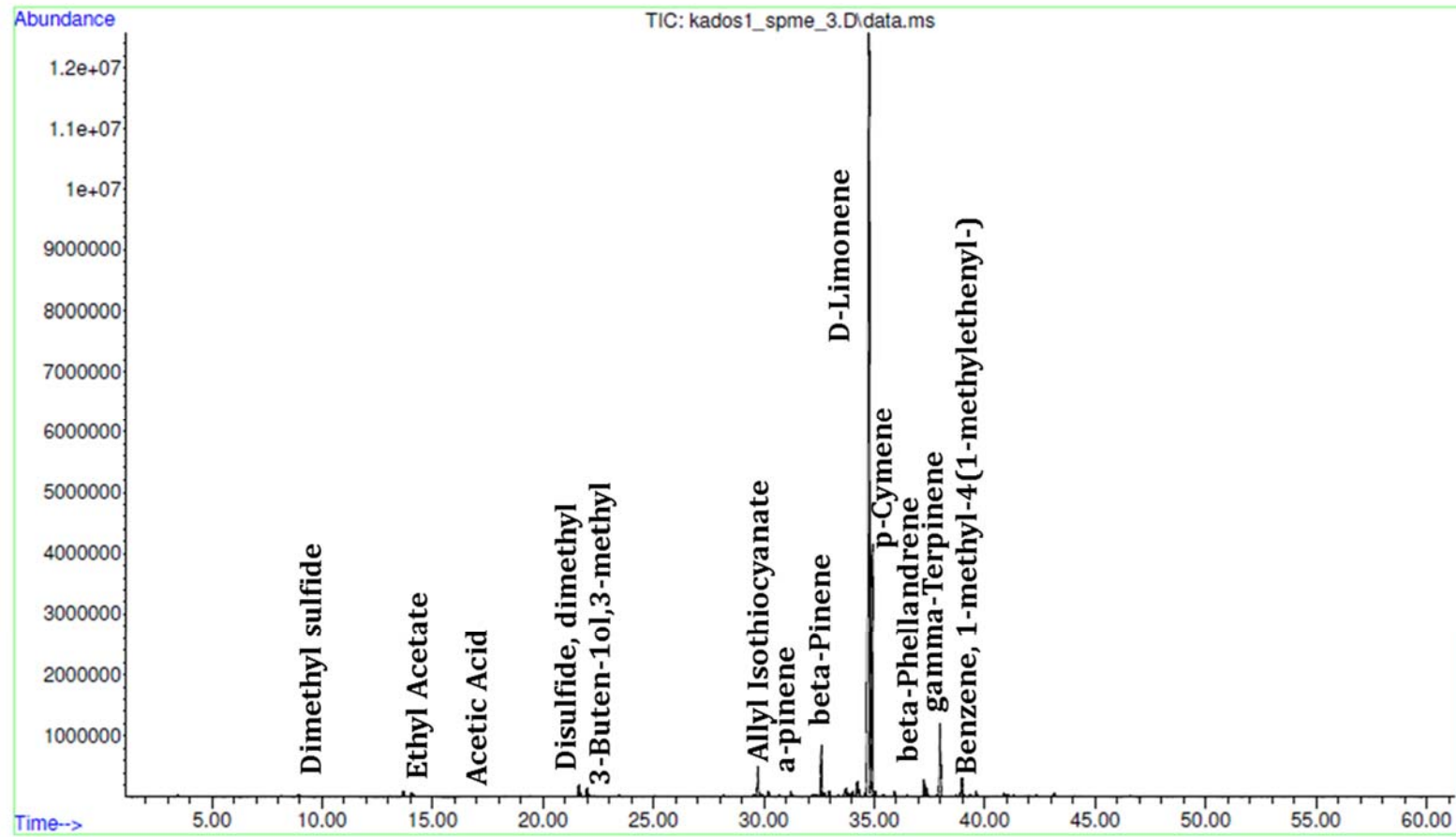
Γράφημα 4.7.13: Διακύμανση του Acetic Acid κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Πιο κάτω παρατίθενται ενδεικτικά χρωματογραφήματα GC-MS της κομποστοποίησης από τον K1 και τον K2:

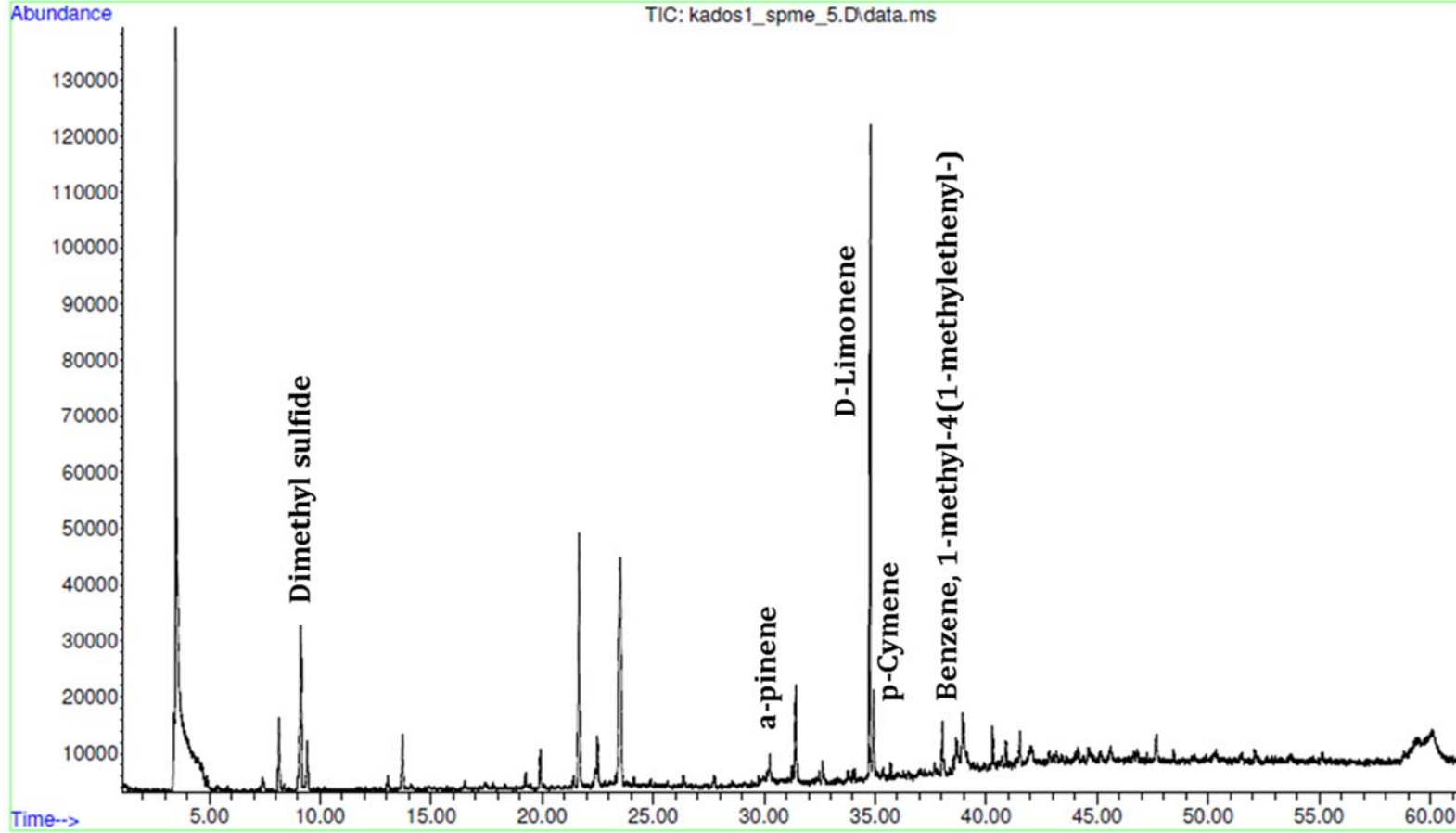
- 1^{ης} ημέρας, (9/10/2017)
- 7^{ης} ημέρας (16/10/2017)
- 21^{ης} ημέρας,(30/10/2017)
- 35^{ης} ημέρας, (13/11/2017)
- 63^{ης} ημέρας, (11/12/2017)



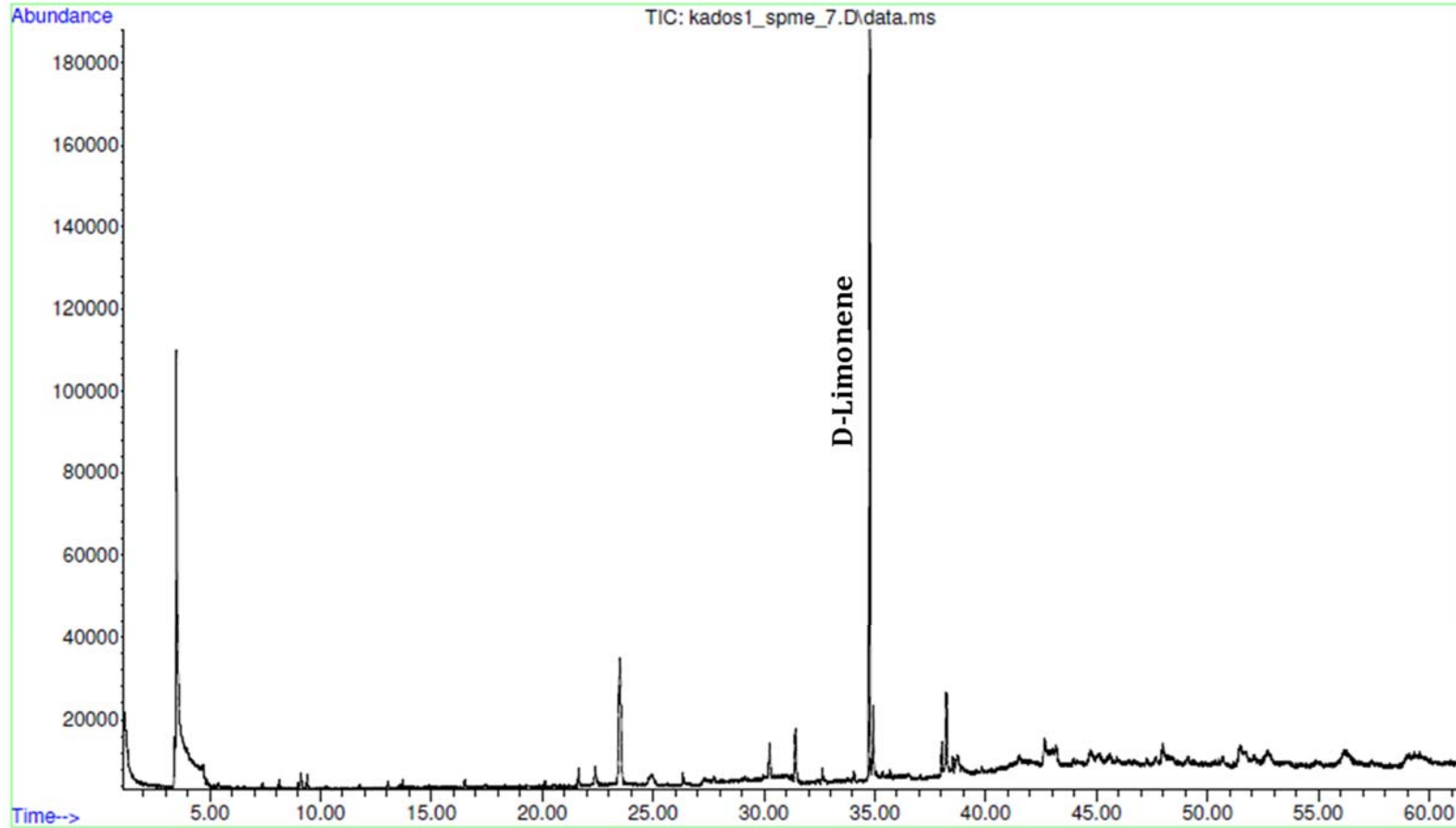
Γράφημα 4.7.14: Χρωματογράφημα K1 1ης ημέρας.



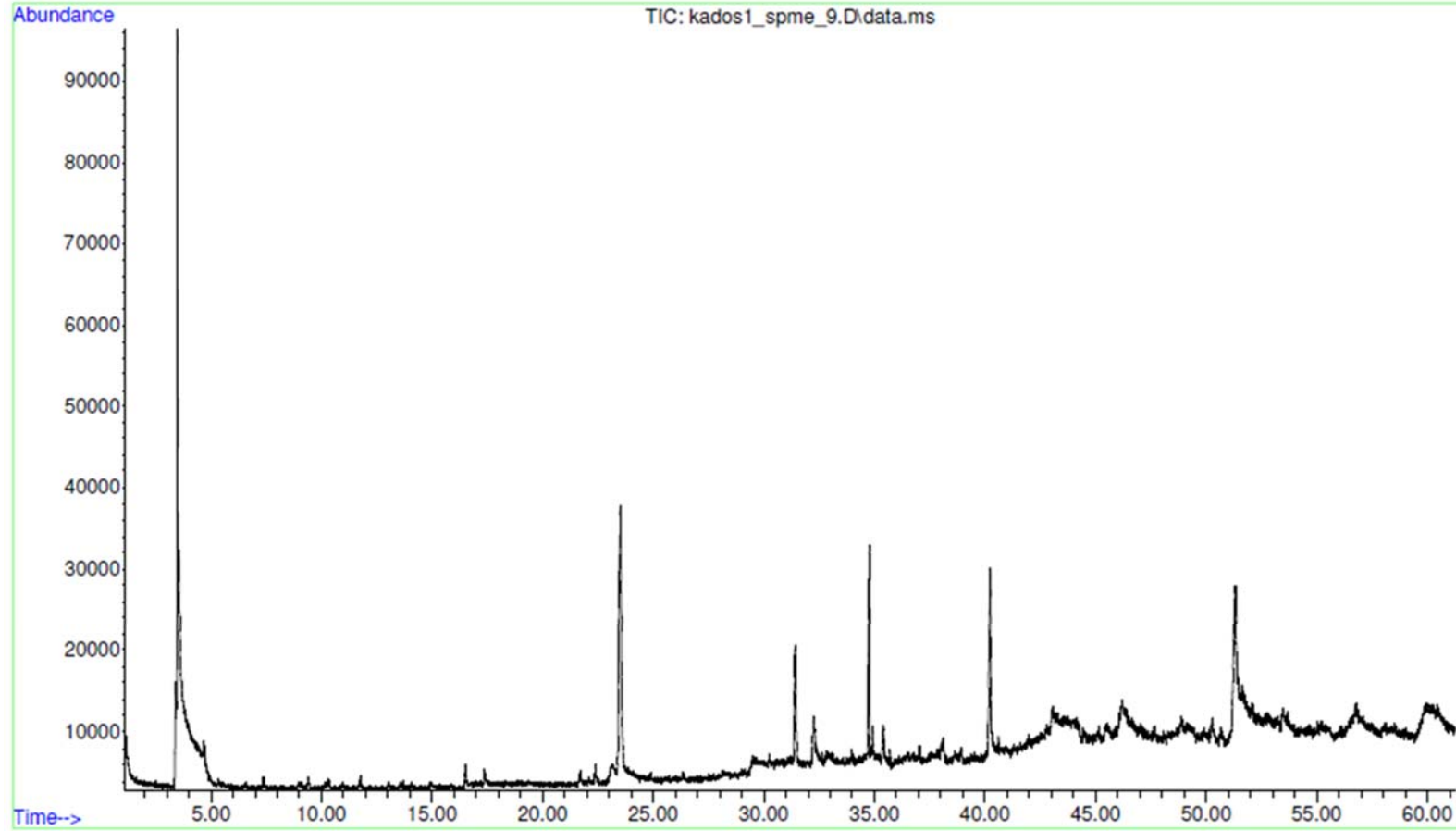
Γράφημα 4.7.15: Χρωματογράφημα Κ1 7ης ημέρας.



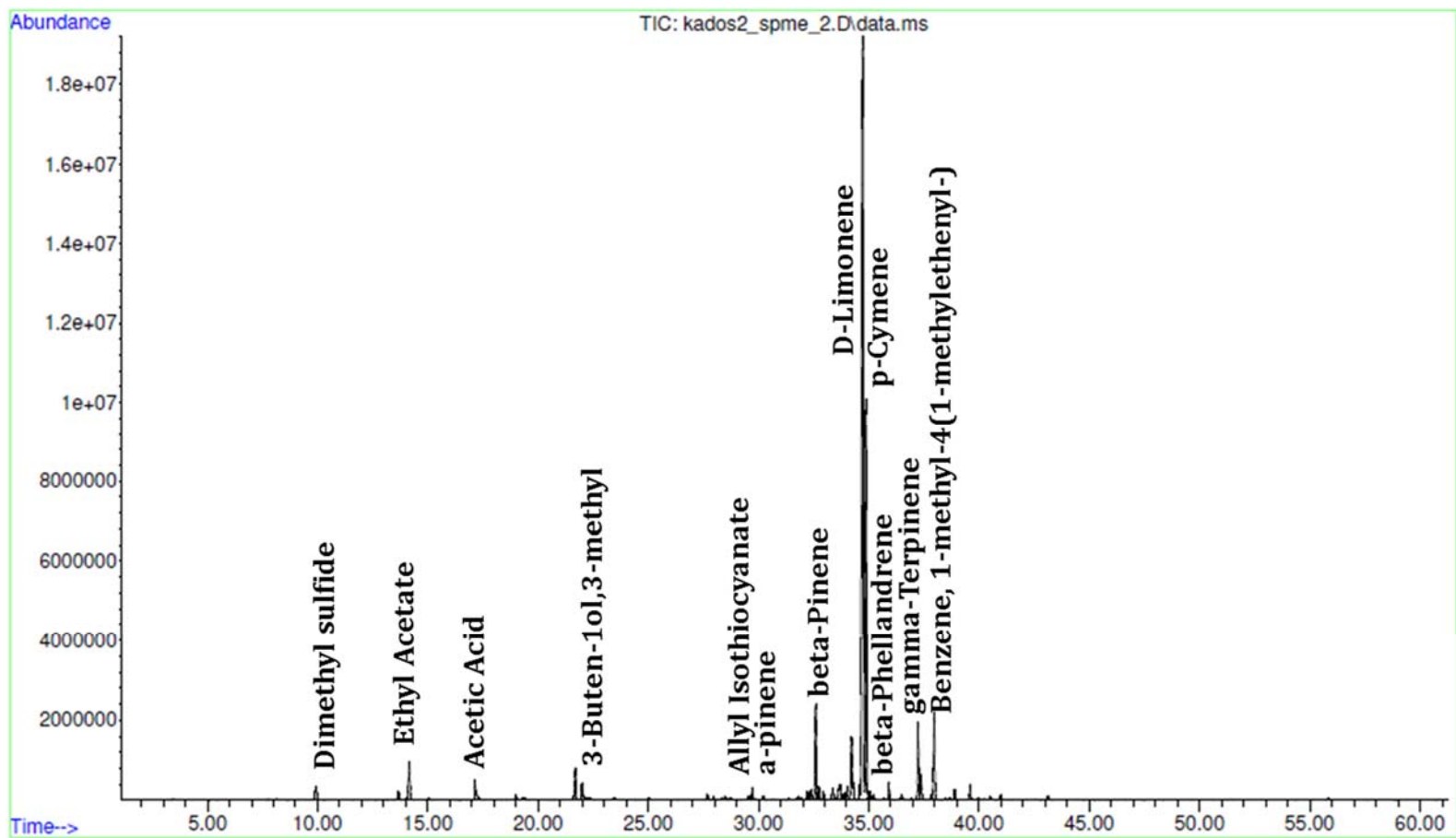
Γράφημα 4.7.16: Χρωματογράφημα K1 21^{ης} ημέρας.



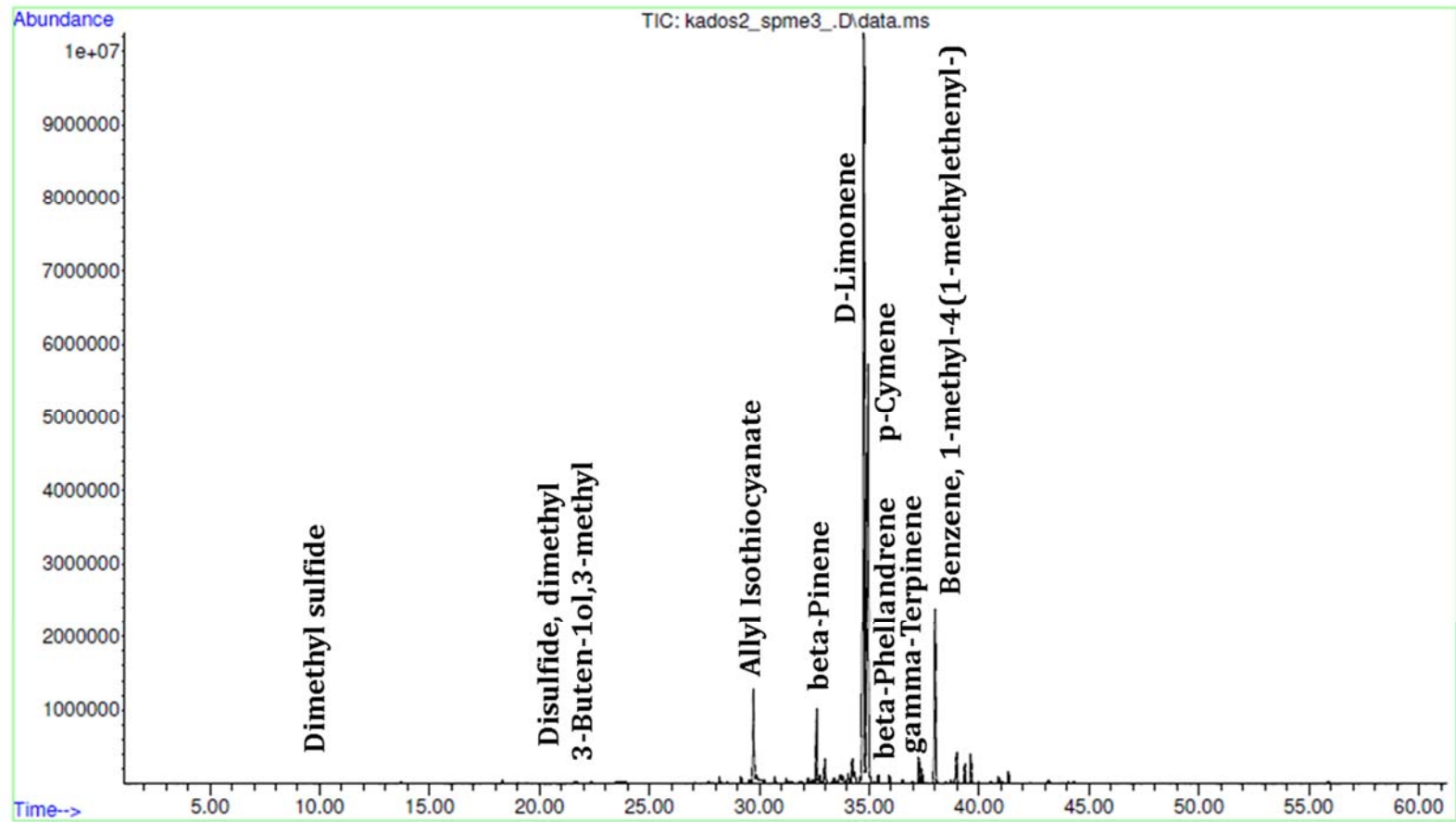
Γράφημα 4.7.17: Χρωματογράφημα K1 35^{ης} ημέρας.



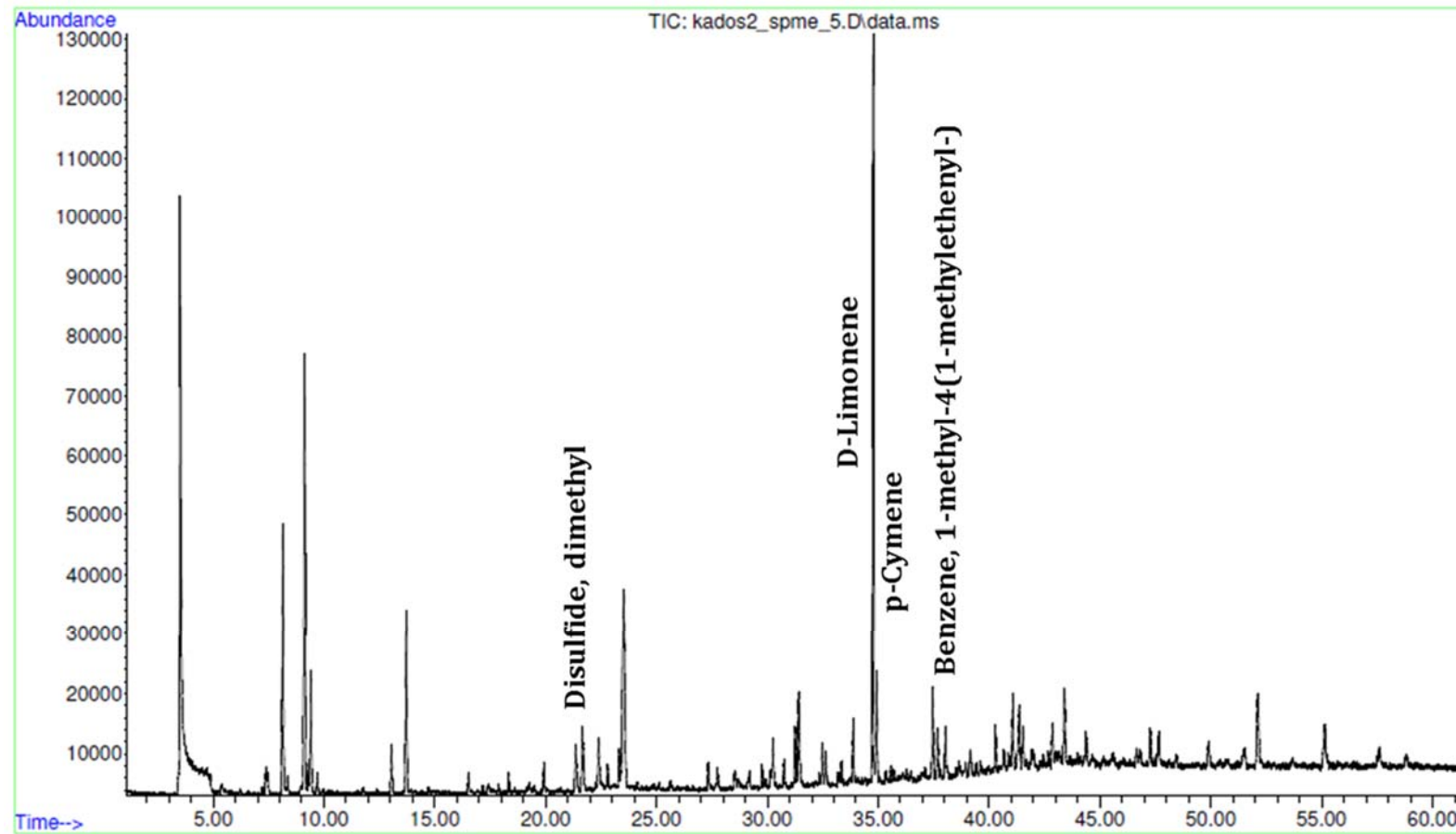
Γράφημα 4.7.18: Χρωματογράφημα K1 63^{ης} ημέρας.



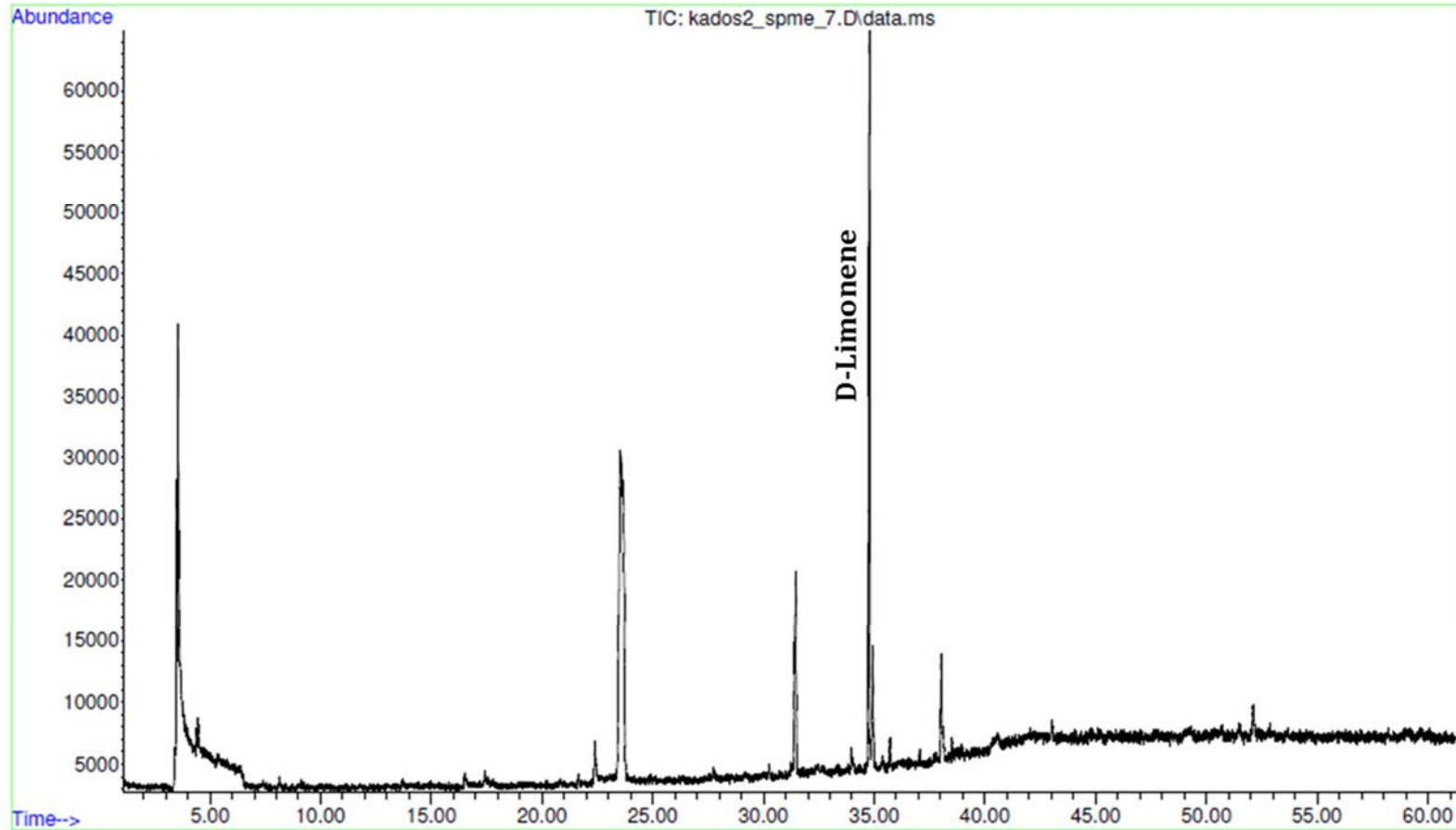
Γράφημα 4.7.19: Χρωματογράφημα K2 1ης ημέρας.



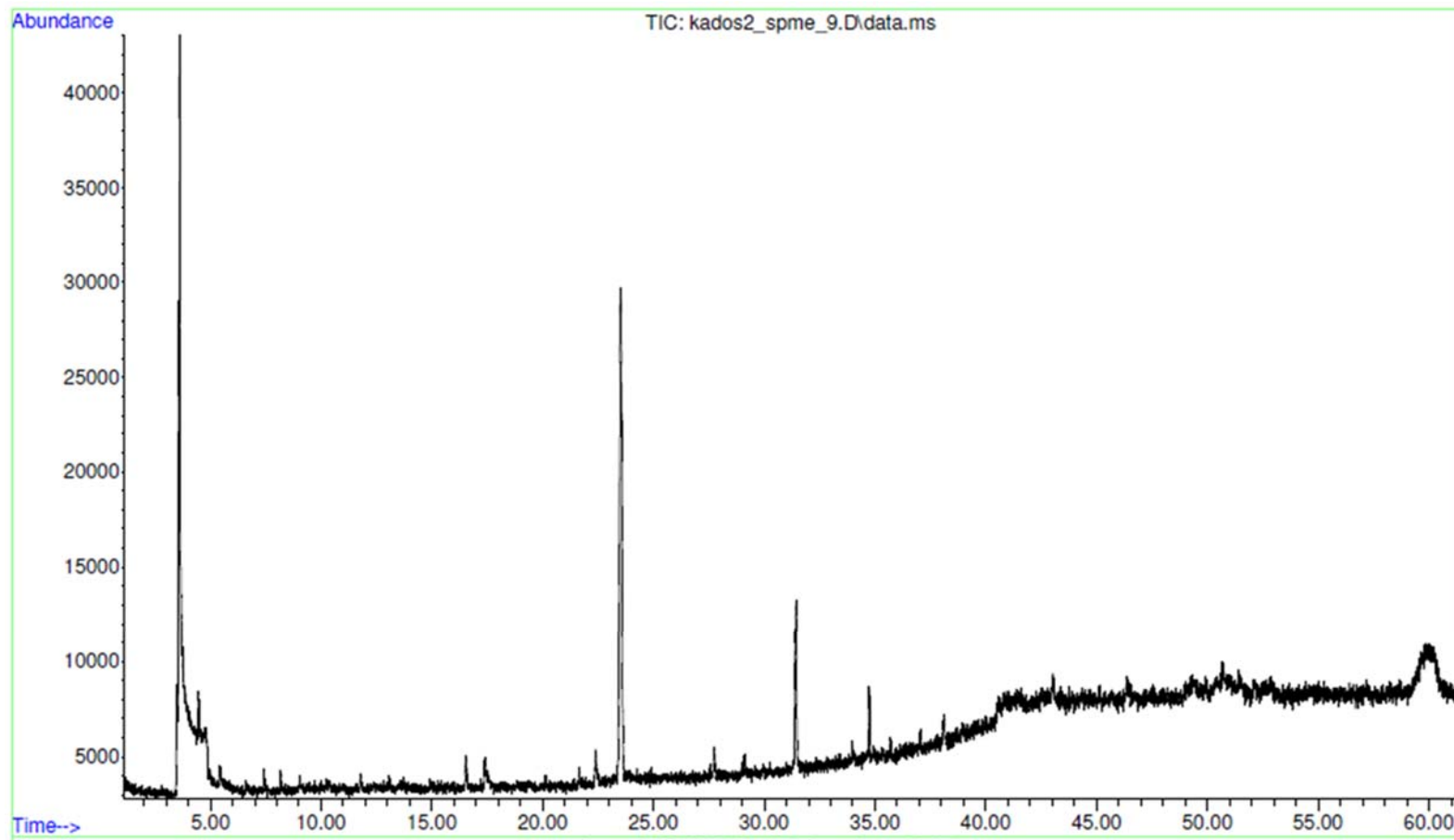
Γράφημα 4.7.20: Χρωματογράφημα K2 7ης ημέρας.



Γράφημα 4.7.21: Χρωματογράφημα Κ2 21^{ης} ημέρας.



Γράφημα 4.7.22: Χρωματογράφημα K2 35^{ης} ημέρας.



Γράφημα 4.7.23: Χρωματογράφημα K2 63^{ης} ημέρας.

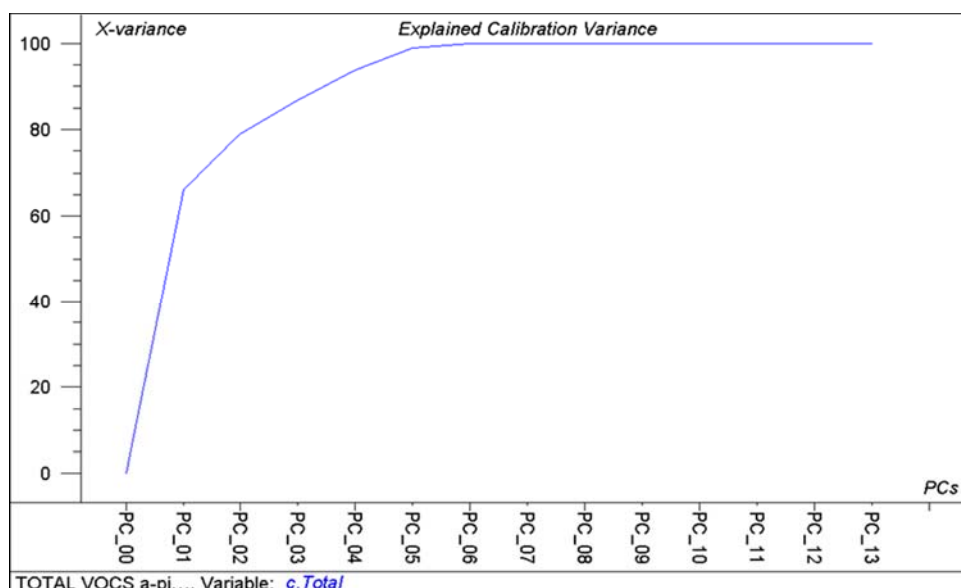
4.8 Ανάλυση Κυριών Συνιστωσών (PCA)

➤ Ανάλυση Κυριών Συνιστωσών για τα δεδομένα των Π.Ο.Ε

Στον Πίνακα 4.8.1 και στο Γράφημα 4.8.1 γίνεται η παρουσίαση της αθροιστικής διακύμανσης των κύριων συνιστωσών. Οι τρεις κύριες συνιστώσες (PC_01, PC_02, PC_03) αντιστοιχούν στο 86.75% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων.

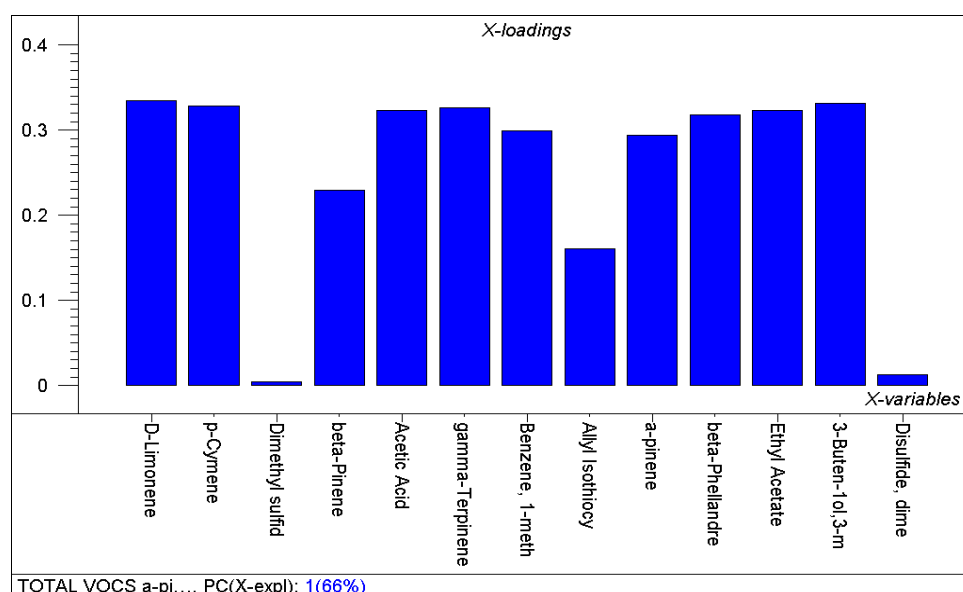
Πίνακας 4.8.1: Αθροιστική διακύμανση των Κύριων Συνιστωσών (PCs) στο σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.

Κύριες Συνιστώσες	Αθροιστική Διακύμανση
PC_01	66.103
PC_02	79.058
PC_03	86.745
PC_04	93.759
PC_05	98.894
PC_06	99.931
PC_07	99.999
PC_08	100



Γράφημα 4.8.1: Αθροιστική διακύμανση των Κύριων Συνιστωσών (PCs) στο σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.

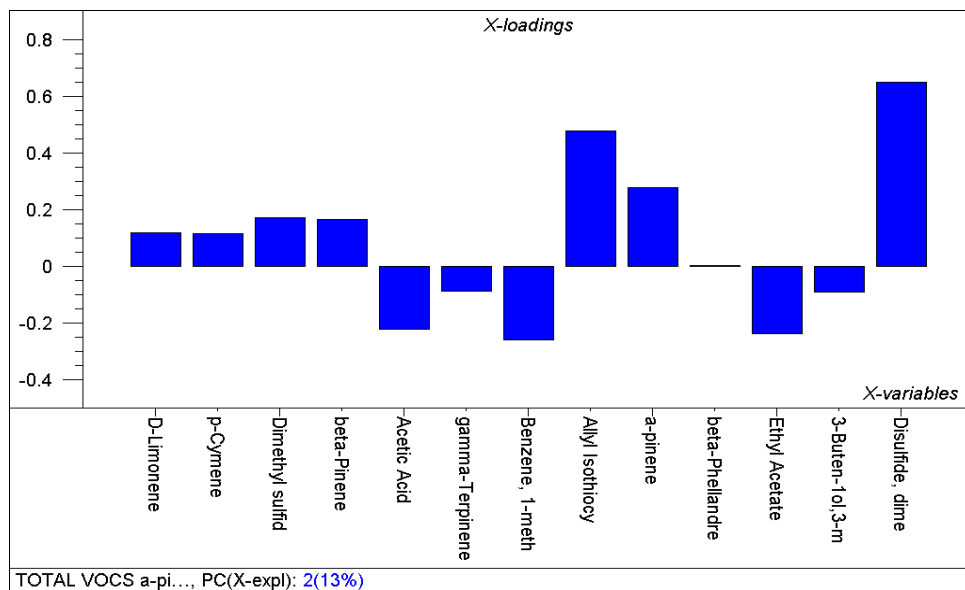
Οι κύριες συνιστώσες (PCs) μπορούν να τύχουν ερμηνείας, εξετάζοντας τους συντελεστές βαρύτητας (loadings) των ΠΟΕ σε κάθε PC (**Γράφημα 4.8.2-4.8.4**). Οι μεταβλητές με τα υψηλότερα (loadings) σε κάθε PC λαμβάνονται υπόψη για την ερμηνεία του PC. Συμφωνά με το **Γράφημα 4.8.2**, η PC1 σχετίζεται κυρίως με τα τερπένια (D-Limonene, p-Cymene, b-pinene, gamma-Terpinene, a-pinene, beta-Phellandrene), τις οξυγονωμένες οργανικές ενώσεις (Ethyl Acetate, 3-Buten-1ol, 3-methyl, Acetic Acid) και το Benzene, 1-methyl-4(1-methylethenyl-).



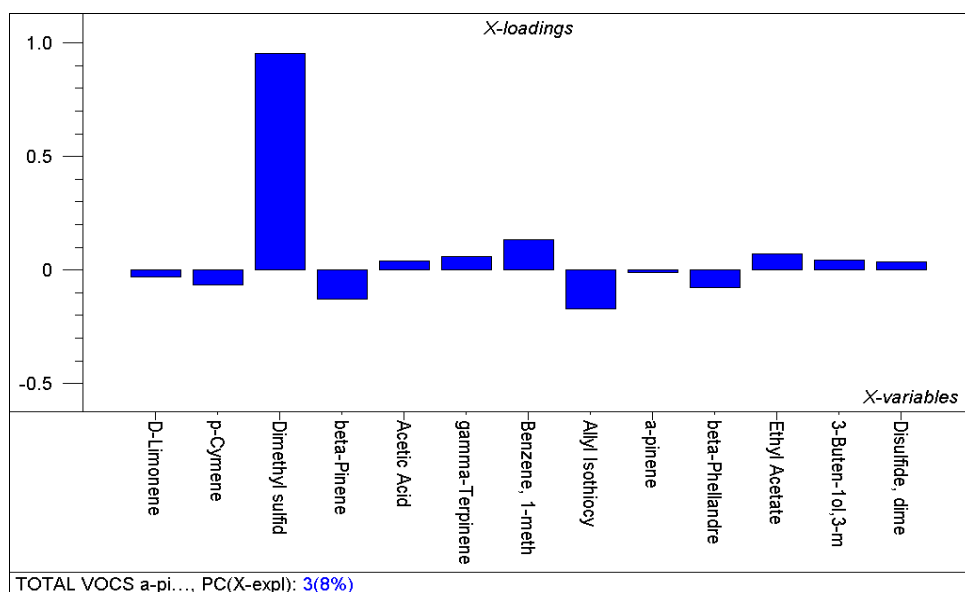
Γράφημα 4.8.2: Γράφημα των συντελεστών βαρύτητας (loadings) στην PC1 για το σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.

Η PC1 αποδίδεται στην έκλυση των τερπενίων η οποία φαίνεται να είναι και η κύρια πηγή διακύμανσης των δεδομένων.

Αντίστοιχα η PC2 και η PC3 σχετίζονται με το Disulfide, dimethyl και το Dimethyl sulfide, αντίστοιχα και μπορούν να αποδοθούν στη μικροβιακή δραστηριότητα που φαίνεται να είναι η δεύτερη πηγή διακύμανσης των δεδομένων (**Γράφημα 4.8.3, Γράφημα 4.8.4**).



Γράφημα 4.8.3: Γράφημα των συντελεστών βαρύτητας (loadings) στην PC2 για το σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.



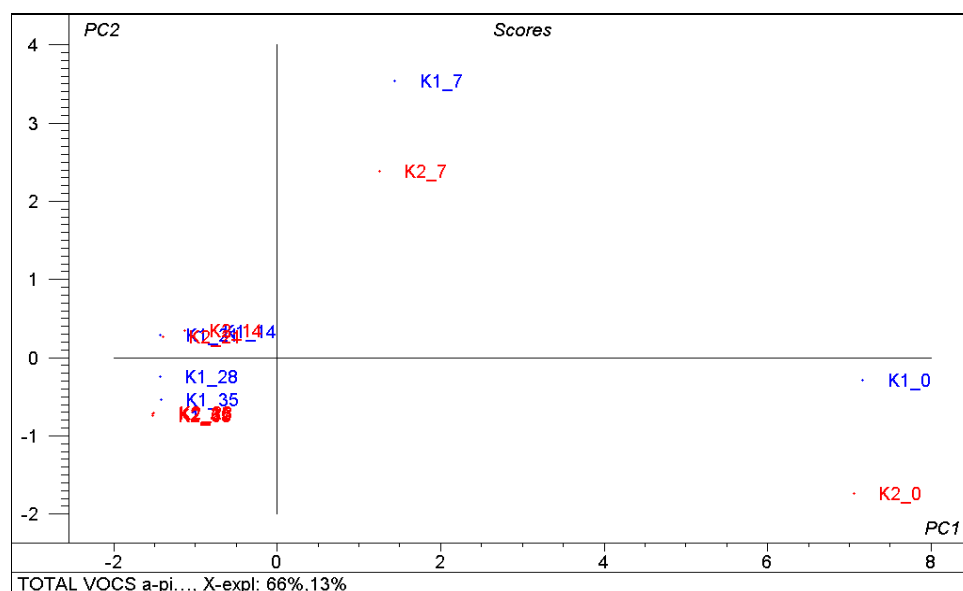
Γράφημα 4.8.4: Γράφημα των συντελεστών βαρύτητας (loadings) στην PC3 για το σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.

Το **Γράφημα 4.8.5** και **Γράφημα 4.8.6** (score plots) απεικονίζουν τις ημέρες δειγματοληψίας στον χώρο των κύριων συνιστωσών PC1/PC2 και PC2/PC3 αντίστοιχα. Δείγματα της ίδιας ημέρας από τους δυο κάδους (K1 και K2) απεικονίζονται σε κοντινά σημεία στο χώρο PC1/PC2. Η μικρή απόσταση μεταξύ τους

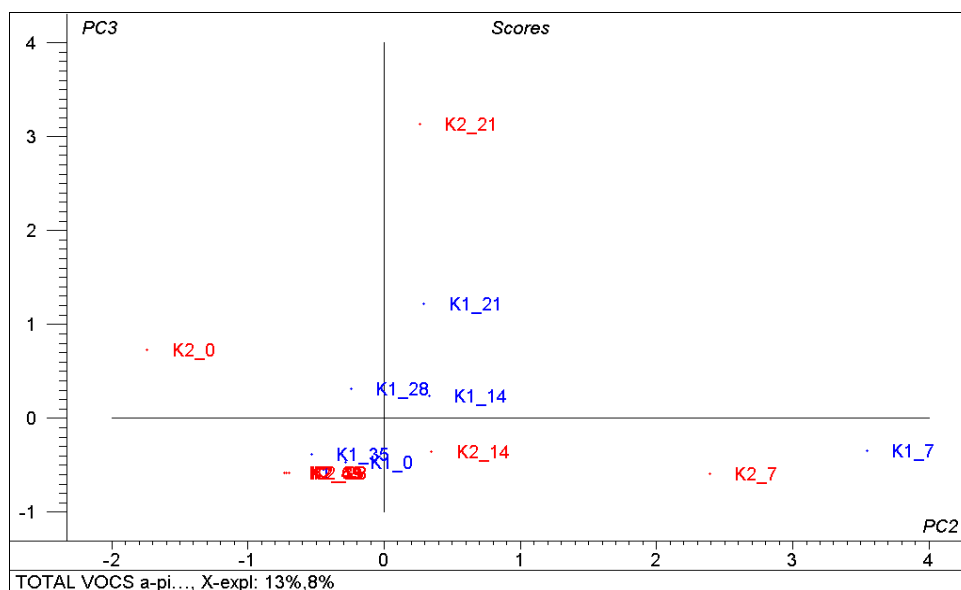
οφείλεται πιθανόν στη διαφορετική αρχική σύσταση των υλικών που τοποθετήθηκαν στους δυο κάδους.

Τα score plots μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση για να προσδιοριστεί η συμμετοχή των πηγών διακύμανσης των δεδομένων σε κάθε ημέρα δειγματοληψίας. Για παράδειγμα η ημέρα 0 τόσο στον K1 όσο και στον K2 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη έκλυση των τερπενίων αλλά και χαμηλή μικροβιακή δραστηριότητα. Η 7^η ημέρα παρουσιάζει την υψηλότερη μικροβιακή δραστηριότητα και μια μέση έκλυση των τερπενίων. Στο score plot PC2/PC3 (**Γράφημα 4.8.6**), παρουσιάζεται κατά την 7^η και 21^η ημέρα η υψηλότερη μικροβιακή δραστηριότητα.

Εφαρμόζοντας την PCA εκ νέου σε πίνακα από τον οποίο είχαν εξαιρεθεί οι θειούχες ενώσεις, η PC2 και η PC3 αποδοθήκαν στο a-pinene και b-pinene, αποκαλύπτοντας ένα διαφορετικό προφίλ έκλυσης αυτών των τερπενίων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα τερπένια.



Γράφημα 4.8.5: Γράφημα των scores στον χώρο PC1/PC2 score plot για το σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.



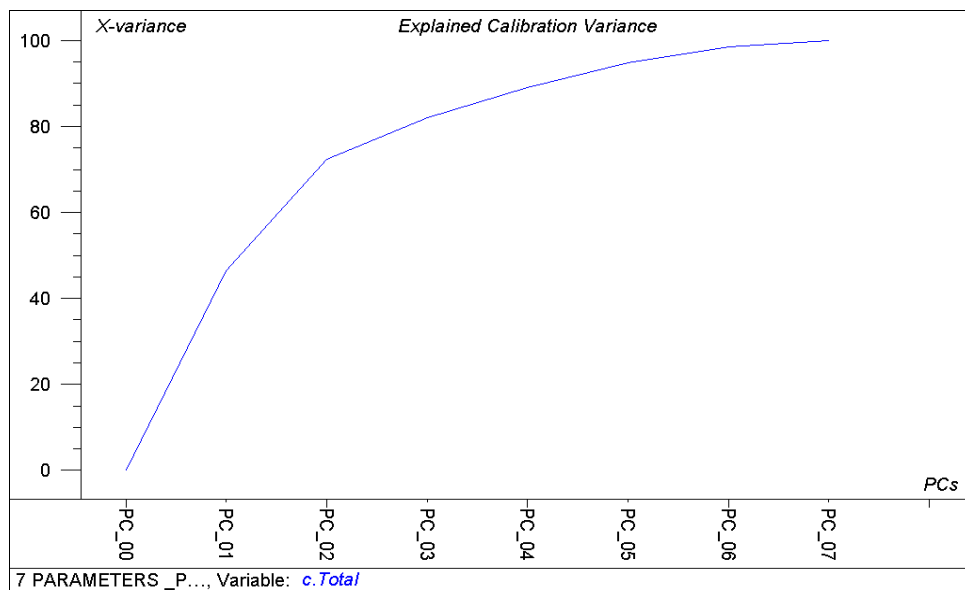
Γράφημα 4.8.6: Γράφημα των scores στον χώρο PC2/PC3 για το σύνολο δεδομένων των ΠΟΕ.

➤ **Ανάλυση Κυριών Συνιστωσών για τα δεδομένα των Φυσικοχημικών Παραμέτρων**

Στον **Πίνακα 4.8.2** και στο **Γράφημα 4.8.7**, γίνεται η παρουσίαση της αθροιστικής διακύμανσης των κύριων συνιστωσών (PCs). Τρεις κύριες συνιστώσες (PC_01, PC_02, PC_03) ερμηνεύουν το 82% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής του συνόλου των φυσικοχημικών παραμέτρων, μπορεί να αποδοθεί σε τρεις κύριες πηγές.

Πίνακας 4.8.2: Αθροιστική διακύμανση των PCs για το σύνολο δεδομένων των Φυσικοχημικών Παραμέτρων.

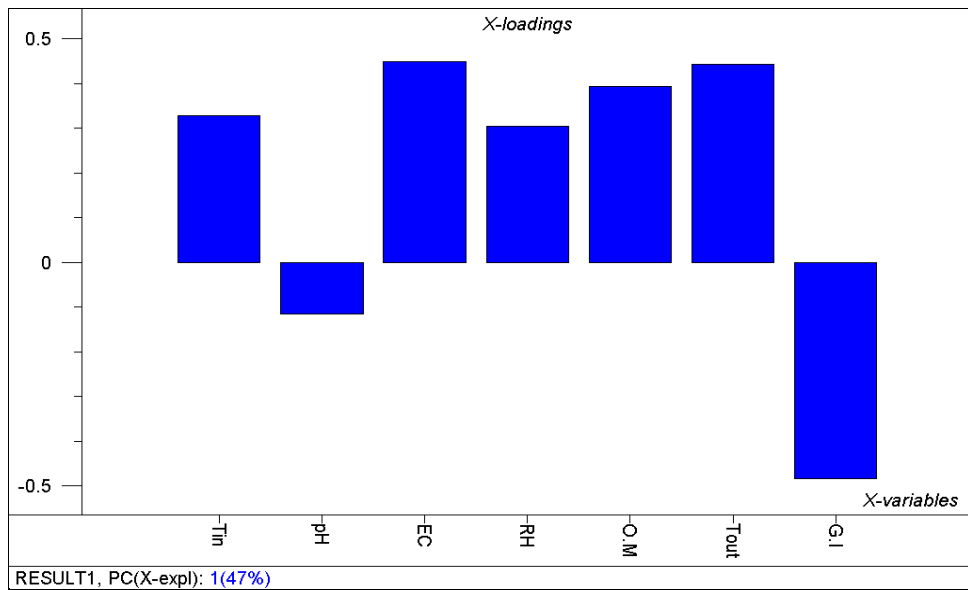
Κύριες Συνιστώσες	Αθροιστική Διακύμανση
PC_01	46.525
PC_02	72.295
PC_03	81.996
PC_04	89.04
PC_05	94.766
PC_06	98.524
PC_07	100



Γράφημα 4.8.7: Επεξήγηση της αθροιστικής διακύμανσης της δέσμης δεδομένων των Φυτικοχημικών Παραμέτρων.

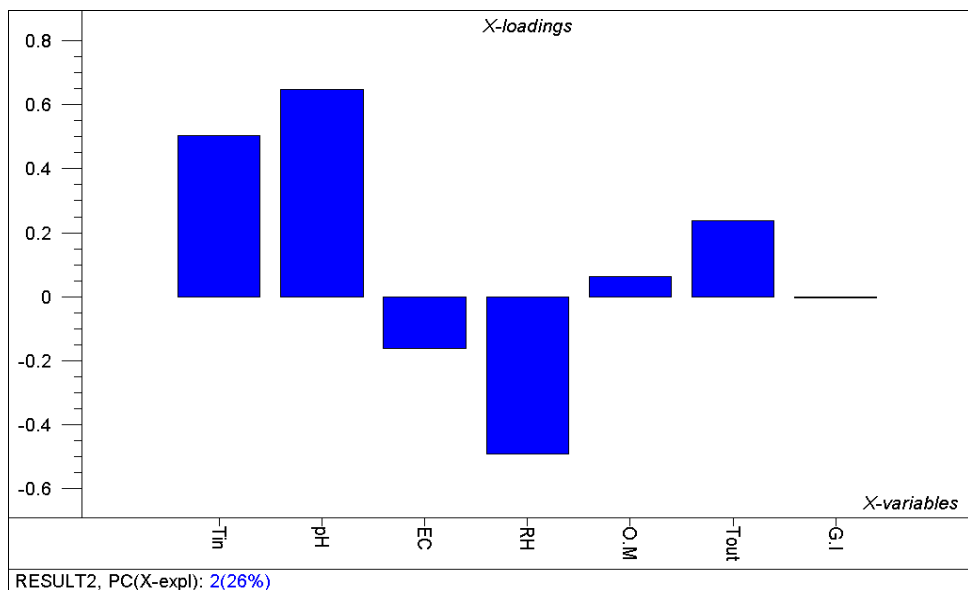
Οι συντελεστές βαρύτητας (loadings) των Φυτικοχημικών Παραμέτρων στους PCs χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία των τελευταίων. Φυτικοχημικές Παραμέτροι με υψηλούς συντελεστές βαρύτητας ληφθείσα υπόψη για την ερμηνεία κάθε PC.

Στο **Γράφημα 4.8.8**, η PC1 αντιπροσωπεύει την αρνητική συσχέτιση μεταξύ του Δείκτη Βλαστικότητας (G.I) και σχεδόν όλων των υπόλοιπων παραμέτρων (ηλεκτρικής αγωγιμότητας, οργανικής ουσίας, εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας και της υγρασίας).



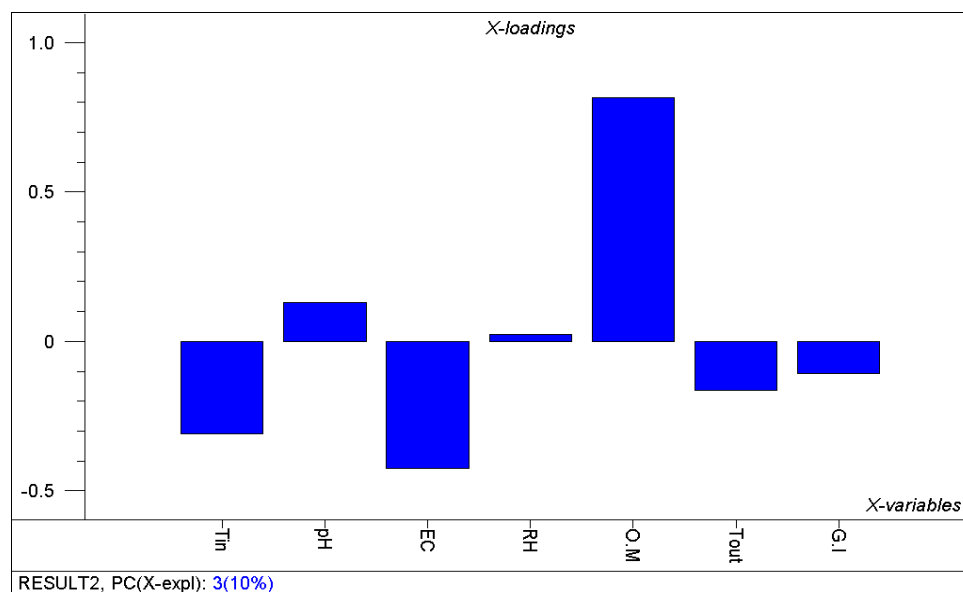
Γράφημα 4.8.8: Γράφημα των συντελεστών βαρύτητας (loading plot) στον PC για το σύνολο των φυσικοχημικών παραμέτρων.

Στο **Γράφημα 4.8.9**, η PC2 επηρεάζεται θετικά από το pH και την εσωτερική θερμοκρασία ενώ επηρεάζεται αρνητικά από τη σχετική υγρασία. Η PC2 μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης του ρυθμού των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν μέσα στους κάδους κομποστοποίησης.



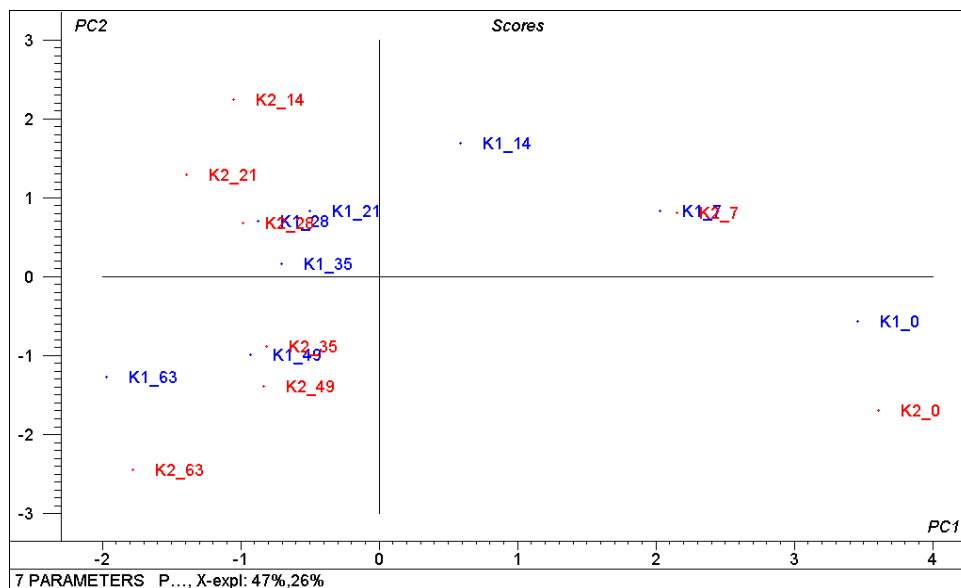
Γράφημα 4.8.9: Γράφημα των συντελεστών βαρύτητας (loading plot) στον PC2 για το σύνολο των φυσικοχημικών παραμέτρων.

Όπως φαίνεται στο **Γράφημα 4.8.10**, η PC3 εκφράζει κυρίως την Οργανική Ουσία η οποία έχει τον υψηλότερο συντελεστή βαρύτητας σε αυτή την κυρία συνιστώσα.



Γράφημα 4.8.10: Γράφημα των συντελεστών βαρύτητας (loading plot) στον PC3 για το σύνολο των φυσικοχημικών παραμέτρων.

Στο score plot PC1/PC2 απεικονίζονται οι ημέρες δειγματοληψίας στον χώρο PC1/PC2 (**Γράφημα 4.8.11**). Δείγματα της ίδιας ημέρας κομποστοποίησης από τους δυο κομποστοποιητές είναι πολύ κοντά, κάτι που σημαίνει ότι έχουν παρόμοιες τιμές φυσικοχημικών παραμέτρων. Οι πρώτες μέρες της κομποστοποίησης παρουσιάζουν υψηλή τιμή στην PC1. Η τελευταία ημέρα της κομποστοποίησης (63^η ημέρα) παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή στην PC1. Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, η PC1 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της διάρκειας της κομποστοποίησης.

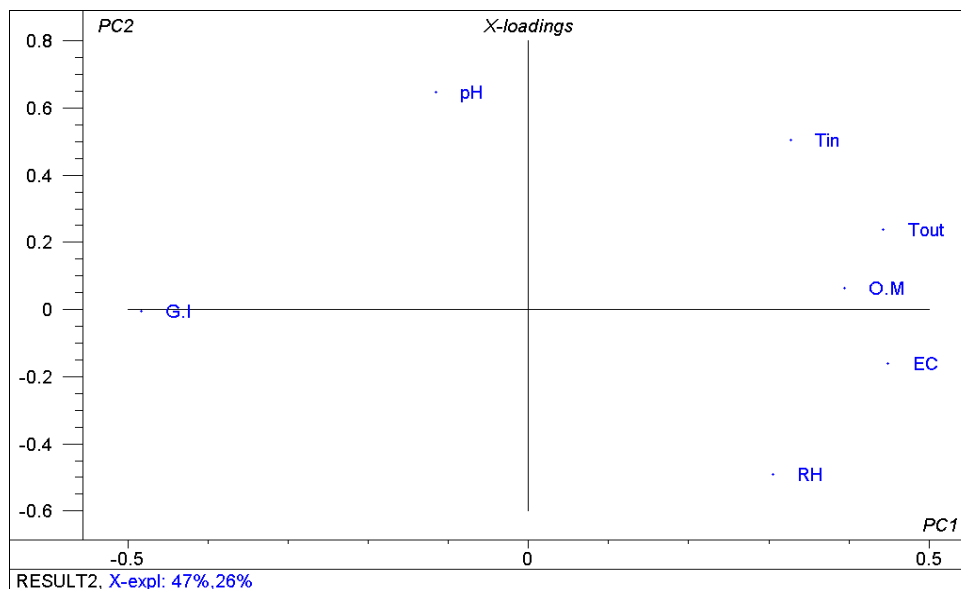


Γράφημα 4.8.11: Γράφημα των scores στον χώρο PC1/PC2 για τις φυσικοχημικές παραμέτρους.

Στο γράφημα των scores στον χώρο PC1/PC2 (**Γράφημα 4.8.11**) οι ημέρες 7–28 έχουν θετική τιμή στην PC2, ενώ οι υπόλοιπες ημέρες παρουσιάζουν αρνητικές τιμές. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η PC2 θα μπορούσε να θεωρηθεί ως δείκτης του ρυθμού των χημικών αντιδράσεων μέσα στους 2 κάδους. Ως εκ τούτου, φαίνεται ότι οι ημέρες 7–28 της κομποστοποίησης έχουν το υψηλότερο ποσοστό αντιδράσεων (με την 14^η ημέρα να παρουσιάζει το μέγιστο όλων), οδηγώντας σε υψηλή θερμοκρασία και pH και χαμηλή υγρασία μέσα στους κάδους. Από την άλλη, οι ημέρες 0 και οι ημέρες 35–63 παρουσιάζουν σταδιακά χαμηλότερη χημική δραστηριότητα που οδηγεί στη μείωση της θερμοκρασίας και του pH και αύξηση της υγρασίας μέσα στους κάδους κομποστοποίησης.

Εξετάζοντας τους συντελεστές βαρύτητας μέσα στον χώρο PC1/PC2 (**Γράφημα 4.8.12**) είναι προφανές ότι η διάρκεια της κομποστοποίησης (PC1) σχετίζεται κυρίως με την με την οργανική ουσία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την εξωτερική θερμοκρασία και το δείκτη βλαστικότητας (G.I). Ο δείκτης βλαστικότητας G.I έχει αρνητική συσχέτιση με την PC1 σε αντίθεση με τις άλλες παραμέτρους. Υπό αυτή την έννοια, οι πρώτες ημέρες της κομποστοποίησης χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές της οργανικής ουσίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και χαμηλές τιμές του δείκτη

βλαστικότητας G.I. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της κομποστοποίησης τόσο υψηλότερος είναι ο δείκτης βλαστικότητας G.I και τόσο χαμηλότερη είναι η οργανική ουσία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η εξωτερική θερμοκρασία.



Γράφημα 4.8.12: Συντελεστές βαρύτητας (loadings) των φυσικοχημικών παραμέτρων στον χώρο PC1/PC2.

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση - Συμπεράσματα - Εισηγήσεις

5.1 Συζήτηση

❖ Θερμοκρασίες

Η θερμοκρασία είναι μια κρίσιμη παράμετρος για την κομποστοποίηση. Οι υψηλές θερμοκρασίες θεωρούνται ως απαραίτητη προϋπόθεση για την ολοκλήρωση της διαδικασίας κομποστοποίησης.

Σε πειράματα οικιακής κομποστοποίησης που διεξήγαγαν οι Ryskeboer et al. (2003b), εντοπίστηκαν ψηλές θερμοκρασίες έως και 76°C κατά τις πρώτες ημέρες της κομποστοποίησης μέχρι και την 35^η ημέρα, ενώ στη συνέχεια οι θερμοκρασίες κυμανθήκαν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα μέχρι και το τέλος της διαδικασίας κομποστοποίησης, με τελική θερμοκρασία 20°C. Τα αποτελέσματα των Ryskeboer et al. (2003b) όσο και των Zorpas et al. (2017) έρχονται σε συμφωνία με τη διακύμανση των θερμοκρασιών στους κάδους K1 και K2 (Πίνακας 5.1). Επίσης πειράματα που έγιναν σε κομποστοποίηση αστικών απόβλητων από τους McKinley και Vestal (1985), έδειξαν ότι η θερμοκρασία είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το μεταβολισμό των μικροοργανισμών. Η μικροβιακή δραστηριότητα βρίσκεται στο υψηλότερο επίπεδο όταν η θερμοκρασία της κομποστοποίησης των αστικών απόβλητων βρίσκεται κάτω από τους 58 °C. Ωστόσο η θερμοκρασία της σωρού κομποστοποίησης πρέπει να διατηρείται σε επίπεδο που να διασφαλίζει την

εξάλειψη των παθογόνων η οποία είναι συνήθως 55 °C για 3–5 ημέρες, κάτι το οποίο έχει επιτευχθεί, τόσο στον K1 όσο και στον K2.

Η μεγαλύτερη θερμοκρασία που παρατηρείται στο εσωτερικό του K2 σε σχέση με του K1 πιθανόν να οφείλεται στη προσθήκη επιπλέον 4 κιλών κλαδεμάτων γρασιδιού, ενώ οι αυξομειώσεις που παρατηρούνται στη καμπύλη διακύμανσης της θερμοκρασίας πιθανόν να οφείλονται στην εβδομαδιαία ανάδευση του.

❖ Υγρασία

Οι τελικές τιμές της υγρασίας τόσο στον K1 όσο και στον K2 παρέμειναν πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια (Tatàno et al., 2015). Οι Lleó et al. (2013) και Zorras et al. (2017) έχουν βρει τιμές υγρασίας μέσα σε αυτά τα όρια (**Πίνακας 5.1**). Έχει βρεθεί ότι ακόμα και προϊόντα κομποστοποίησης διαφορετικής προέλευσης που προέρχονται από εγκαταστάσεις κομποστοποίησης και διατίθενται στο εμπόριο περιέχουν υγρασία που κυμαίνεται γύρω στο 70% (Lasaridi et al., 2006; Boldrin et al., 2010). Γενικά είναι απαραίτητο ένα ανώτατο όριο της περιεχόμενης υγρασίας του τελικού προϊόντος για την αποφυγή προβλημάτων στην αποθήκευση, στη μεταφορά και το χειρισμό του (Krogmann et al., 2010). Ωστόσο αυτές οι πτυχές δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την προσέγγιση της οικιακής κομποστοποίησης επειδή το κόμποστ που λαμβάνεται, αναμένεται να χρησιμοποιηθεί απευθείας στο κήπο ή στο έδαφος (Andersen et al., 2011).

Η πτώση της υγρασίας κατά τα πρώτα στάδια της κομποστοποίησης τόσο στον K1 όσο και στον K2 διορθώθηκε με τη προσθήκη 2 λίτρων νερού σε κάθε κάδο. Η προσθήκη αυτή έγινε για να διατηρηθούν τα επίπεδα της υγρασίας πάνω από 40% κατά τα πρώτα στάδια της κομποστοποίησης. Εάν τα επίπεδα υγρασίας είναι πολύ χαμηλά (δηλ. λιγότερο από 40%), το μέγεθος και το επίπεδο δραστηριότητας των πληθυσμών των μικροοργανισμών αναστέλλεται, οδηγώντας σε βραδύτερη ενεργή κομποστοποίηση (Environment and Climate Change Canada, 2013).

❖ Οργανική Ουσία

Το ποσοστό της οργανικής ουσίας τόσο στον K1 (71.47) όσο και στον K2(70.92) συμφωνεί με τις τιμές των Alfano et al. (2008) σε προϊόντα κομποστοποίησης απόβλητων ελαιοτριβείων και με τις τιμές των Lleó et al. (2013) οι οποίοι διεξήγαγαν πειράματα οικιακής κομποστοποίησης, ενώ αντίθετα οι Faverial and Sierra, (2014) σε πειράματα κομποστοποίησης οικιακών οργανικών αποβλήτων βρήκαν το ποσοστό της οργανικής ουσίας στο 46,4% (**Πίνακας 5.1**). Οι Tatàno et al. (2015) αναφέρουν πως τιμές οργανικής ουσίας $\geq 20\%$ είναι αποδεκτές για προϊόντα κομποστοποίησης.

❖ **pH**

Οι τελικές τιμές του pH τόσο στον K1 (8.08) όσο και στον K2 (7.81) φαίνεται να συμφωνούν με τις τιμές του pH άλλων ερευνητών που ασχολήθηκαν με τη κομποστοποίηση οικιακών αποβλήτων: Οι Colón et al. (2010)βρήκαν τιμές pH γύρω στο 8.3 και οι Tatàno et al. (2015) βρήκαν τιμές pH μεταξύ 7.5–8.5. Οι Hasan et al. (2012) βρήκαν τιμή pH=7.74 σε κόμποστ που προέρχεται από αστικά στερεά απόβλητα, ενώ ο Hartz and Giannini (1998) βρήκαν τιμή pH=7 σε κόμποστ πράσινων αποβλήτων (**Πίνακας 5.1**). Γενικά η διακύμανση του pH από 6.5–8 είναι αποδέκτη για τη κομποστοποίηση και οι περισσότερες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στη κομποστοποίηση εμπίπτουν σε αυτό το εύρος (Environment and Climate Change Canada, 2013).

➤ **Ηλεκτρική Αγωγιμότητα**

Τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών που έγιναν από τους Ravin et al. (1987) και Inbar et al. (1993) έδειξαν μείωση της αγωγιμότητας στις αρχές της διαδικασίας της κομποστοποίησης, ακολουθούμενη από μια σταθερή αύξηση καθώς προχώρα η διαδικασία. Η αρχική πτώση οφείλετε στη σταθεροποίηση της αμμωνίας και άλλων θρεπτικών συστατικών κατά τη διάρκεια της ταχείας αύξησης του αερόβιου μικροβιακού πληθυσμού, ενώ η επακόλουθη αύξηση οφείλετε στη συγκέντρωση ανόργανων συστατικών στα τελικά στάδια της ενεργού φάσης της διαδικασίας κομποστοποίησης (Agnew and Leonard, 2003).

Η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία αντανακλά παραμετρικά την αλατότητα της σωρού κομποστοποίησης, αποτελεί μια επιπλέον ένδειξη της προόδου της κομποστοποίησης, αφού συνήθως η σταδιακή διάσπαση της οργανικής ύλης συνοδεύεται από την αύξηση διαφόρων μεταλλικών ιόντων (Cáceres et al., 2006; Liu et al., 2011). Τα αποτελέσματα αυτά εξηγούν και τη πορεία της καμπύλης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας τόσο στον K1 όσο και στον K2.

Οι τελικές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας K1 (3.69) και K2 (3.91) συμφωνούν με τις τιμές άλλων εργασιών οικιακής κομποστοποίησης (Colón et al., 2010; Lleo et al., 2013; Zorpas et al., 2017)(Πίνακας 5.1). Οι Tatàno et al. (2015) αναφέρουν ότι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεγαλύτερες από 5 dS m^{-1} αποτελεί το ανώτατο όριο πάνω από το οποίο μπορεί να εμφανιστεί φυτοτοξικότητα. Αυτή η φυτοτοξική συμπεριφορά μπορεί να είναι ανησυχητική, ιδίως στην ειδική εφαρμογή του κόμποστ ως υλικό γλάστρας, εάν χρησιμοποιείται αδιάλυτο ή σε μεγάλες ποσότητες σε μίγματα φυτοχώματος για γλάστρες (Manios, 2004, Lasaridi et al., 2006).

Οι διαφορές που παρατηρούνται στις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τα πρώτα στάδια της κομποστοποίησης στους δυο κάδους πιθανόν να σχετίζονται με τη διαφορετική σύσταση των υλικών στον K2 όπου προστεθήκαν 5% επιπλέον κλαδέματα ξερού γρασιδιού σε σχέση με τον K1.

❖ Φυτοτοξικότητα

Ο Δείκτης Βλαστικότητας (Δ.Β) τόσο στον K1 όσο και στον K2 παρόλο που είχε κάποιες αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια των τεστ βλαστικότητας των σπόρων μαρουλιού, δεν κατέβηκε ποτέ κάτω από 100 κάτι που καταδεικνύει ότι στα δείγματα κόμποστ δεν υπήρχαν φυτοτοξικές ουσίες. Οι τελικές τιμές του Δ.Β για τον K1 (230.99) και για τον K2 (224.46) καταδεικνύουν ότι το τελικό προϊόν και των δυο κάδων χαρακτηρίζεται ως φυτοθεραπευτικό. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν οι Colón et al. (2010), οι οποίοι διεξήγαγαν τεστ βλαστικότητας σε σπόρους αγγουριού για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας του κόμποστ οικιακής κομποστοποίησης. Τα αποτελέσματα της βλάστησης των σπόρων

αντιστοιχούσαν σε όλες τις περιπτώσεις στο 100% καταδεικνύοντας ότι δεν υπήρχαν φυτοτοξικές ουσίες στο κόμποστ. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν οι Ko et al. (2008) σε τεστ φυτοτοξικότητας σε κόμποστ ζωικής κοπριάς (**Πίνακας 5.1**).

Στον **Πίνακα 5.1** παρατίθενται οι τελικές τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων που έχουν μελετηθεί στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, αλλά και οι τελικές τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων που έχουν μελετηθεί από άλλους ερευνητές σε προϊόντα κομποστοποίησης.

Πίνακας 5.1: Βιβλιογραφική ανασκόπηση των σημαντικότερων φυσικοχημικών παραμέτρων που μελετήθηκαν από διάφορους ερευνητές.

Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά	Αποτελέσματα Διατριβής		Αποτελέσματα Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης	Βιβλιογραφία	Προέλευση Παραγόμενου Κόμποστ
	K1	K2			
Θερμοκρασία (°C)	18.1–57.8	17.3–60.2	20–76	¹ Ryckeboer et al. (2003)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
			25–84	² Zorpas et al. (2017)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
pH	8.08	7.81	8.3 ± 0.3	³ Colon et al. (2010)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
			7.5–8.5	⁴ Tatàno et al. (2015)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
			7.74	²² Hasan et al. (2012)	Αστικά Στερεά Απόβλητα
			7	²⁴ Hartz and Giannini, (1998)	Πράσινα Απόβλητα
EC (mS/cm)	3.69	3.91	5 ± 1	³ Colon et al. (2010)	
			3.4	⁵ Faverial and Sierra (2014)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
			4.02–1.74	² Zorpas et al. (2017)	
Υγρασία (%)	64	64.57	50.3	⁶ Lleó et al. (2013)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
			9.18–56	² Zorpas et al. (2017)	
			≤ 50	⁴ Tatàno et al. (2015)	
GI (%)	139.16–	128.99–	>110	⁷ Ko et al. (2008)	Ζωική Κοπριά

	374.44	365.44	>100	³ Colon et al. (2010)	
Οργανική Ουσία (%)	71.47	70.92	58–72	¹⁰ Alfano et al. (2008)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
			75	⁶ Lleó et al. (2013)	
			46.4	⁵ Faverial and Sierra, (2014)	
C/N	-	-	<12	⁸ Bernal et al. (1998)	Μίγματα Διαφόρων Οργανικών Αποβλήτων
			26–53	¹⁰ Alfano et al. (2008)	
			11.8	⁵ Faverial and Sierra, (2014)	
			23.9	² Zorpas et al. (2017)	
N-NH₄ (mg/kg)	-	-	73	²² Hasan et al. (2012)	Αστικά Στερεά Απόβλητα
N-NO₃ (mg/kg)	-	-	1165	²² Hasan et al. (2012)	
TN (g kg⁻¹ DM)	-	-	27.3	²¹ Doublet et al. (2011)	Πράσινα Απόβλητα
TKN (% dm)	-	-	2.1	²⁶ Franke-Whittle et al. (2014)	Συγκομποστοποίηση Οργανικών Αποβλήτων
C/P	-	-	18.06	²³ Ali et al. (2015)	Κοπριά Αγελάδας και Άχυρο
			18.4	² Zorpas et al. (2017)	
Σχετική Πυκνότητα,	-	-	0.42±0.05	³ Colon et al. (2010)	

Bulk Density (Kg/L)			0.78	² Zorpas et al. (2017)	
Πορώδες (%)	-	-	59±3	³ Colon et al., 2010	
Χουμικά οξέα/Χουλβικά οξέα	-	-	> 1.9	⁹ Iglesias Jiménez and Pérez García, (1992)	Οικιακά Οργανικά Απόβλητα
			>1.6	⁷ Ko et al. (2008)	
NO₃⁻/NH₄⁺	-	-	<0.16	⁸ Bernal et al. (1998)	Μίγματα Διαφόρων Οργανικών Αποβλήτων
			0.06	²² Hasan et al. (2012)	Αστικά Στερεά Απόβλητα
Βαρέα Μέταλλα (mg kg⁻¹ DS):					
Zn	-	-	100–226	¹⁸ Dimambro et al. (2007)	Αστικά Στέρεα Απόβλητα
Cu	-	-	312	¹⁹ Zheljazkov and Warman (2004)	Αστικά Στέρεα Απόβλητα
Ni	-	-	21	¹⁹ Zheljazkov and Warman (2004)	
Cd	-	-	2	²⁰ Pascual et al. (1997)	Βιολογική Λάσπη
Pb	-	-	438	²⁰ Pascual et al. (1997)	
Cr	-	-	22	¹⁸ Dimambro et al. (2007)	Αστικά Στέρεα Απόβλητα
Hg	-	-	0.22	¹⁸ Dimambro et al. (2007)	

Ιχνοστοιχεία:					
Na (%)	-	-	0.26	¹¹ Alburquerque et al. (2006)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
K (%)	-	-	3.7	¹² Alburquerque et al. (2009)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
Ca (%)	-	-	24–30	¹³ Cegarra et al. (2006)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
Mg (g/kg)	-	-	0.3–0.5	¹⁴ Garcia-Gomez et al. (2003)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
Fe (g/kg)	-	-	0.1–4.1	¹⁵ Sánchez-Arias et al. (2008)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
Cu (mg/kg)	-	-	1.4–3.2	¹⁶ Tortosa et al. (2012)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων
Mn (mg/kg)	-	-	104–131	¹⁷ Cayuela et al. (2010)	Απόβλητα Ελαιοτριβείων

5.2 Συμπεράσματα

- ❖ Η οικιακή κομποστοποίηση είναι μια φιλική προς το περιβάλλον διεργασία, που οδηγεί στη μείωση του όγκου των οικιακών οργανικών απορριμμάτων και στην παραγωγή ενός χρήσιμου και αξιοποιήσιμου τελικού προϊόντος.
- ❖ Κατά τη διάρκεια της διεργασίας κομποστοποίησης παράγονται Π.Ο.Ε, κυρίως τερπένια, οξυγονωμένες ενώσεις και αναλόγως των συνθηκών δύσσομες οργανικές θειούχες ενώσεις. Η πιο έντονη ουσία που παράγεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι το λιμονένιο.
- ❖ Η έκλυση των τερπενίων μπορεί να συσχετιστεί με την αποικοδόμηση της φυτικής οργανικής ύλης.
- ❖ Η παραγωγή θειούχων ενώσεων συσχετίζεται κυρίως με τις συνθήκες αερισμού και με τη μικροβιακή δραστηριότητα.
- ❖ Η υψηλότερη μικροβιακή δραστηριότητα παρατηρείται κυρίως από την 1^η έως και την 3^η εβδομάδα.
- ❖ Οι χημικές διεργασίες κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης επηρεάζονται κυρίως από το pH, και τη θερμοκρασία.
- ❖ Κατά το πρώτο μισό στάδιο της κομποστοποίησης η θερμοκρασία και το pH αυξάνει ενώ η υγρασία διατηρείται, ενώ κατά το δεύτερο μισό το pH και η θερμοκρασία μειώνεται και η υγρασία αυξάνει.
- ❖ Η διάρκεια της κομποστοποίησης συσχετίζεται θετικά με την οργανική ουσία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την εξωτερική θερμοκρασία και τον Δείκτη Βλαστικότητας.

5.2 Εισηγήσεις

Είναι σαφές ότι τα αποτελέσματα της μεταπτυχιακής διατριβής, αποτελούν μια βάση για περαιτέρω μελέτη και έρευνα στο μέλλον.

Ειδικότερα η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα συνοψίζεται στα εξής:

- Μελέτη περισσότερων φυσικοχημικών παραμέτρων του κόμποστ για εκτενέστερο χαρακτηρισμό του τελικού προϊόντος.
- Συσχέτιση με άλλες αναλογίες υλικών όπως για παράδειγμα μεγαλύτερη αναλογία πράσινων υλικών.
- Μέτρηση συνολικών ΠΟΕ και ανόργανων αέριων όπως NH_3 , CO_2 .
- Σύγκριση τελικής οσμής με εμπορικά προϊόντα κομποστοποίησης που κυκλοφορούν στην κυπριακή αγορά.

Βιβλιογραφία

- Abdulra'uf, L. B., Hammed, W. A., Huat Tan G. (2012) SPME Fibers for the Analysis of Pesticide Residues in Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42,152–161.
- Adhikari, B.K., Barrington, S., Martinez, J. (2006) Predicted Growth of World Urban Food Waste and Methane Production. *Waste Management & Research*, 24, 421–433.
- Agnew, M.J. Leonard, J.J. (2003) The Physical Properties of Compost. *Compost Science & Utilization*, 11, 238–264.
- Alburquerque, J.A., Gonzalez, J., García, D., Cegarra, J. (2006) Effects of Bulking Agent on the Composting of “alperujo”, the Solid by-Product of the Two Phase Centrifugation Method for Olive Oil Extraction. *Process Biochemistry*, 41, 127–132.
- Alfano, G., Belli, C., Lustrato, G., Ranalli, G. (2008). Pile Composting of Two-Phase Centrifuged Olive Husk Residues: Technical Solutions and Quality of Cured Compost. *Bioresource Technology*, 99, 4694–4701.
- Ali, M.M., Khan, A.F., Hossain, M.M., Rahman, A. (2015) Preparation of Cattle Manure Compost Using Saw Dust and Rice Straw. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 44, 64–68.
- Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2011) Mass Balances and Life Cycle Inventory of Home Composting of Organic Waste. *Waste Management*, 31, 1934–1942.
- Arthur, C. L., Pawliszyn, J. (1990) Solid Phase Microextraction with Thermal Desorption Using Fused Silica Optical Fibers. *Analytical Chemistry*, 62, 2145–2148.
- Atalia, R. K., Buha. M. D., Bhavsar, A. K., Shah, K. N. (2015) A Review on Composting of Municipal Solid Waste. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 9, 20–29.

- Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lark, R.M., Kirk, G.J.D. (2005) Carbon Losses from all Soils Across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437, 245–248.
- Bernal, M.P., Paredes C., Sanchez-Monedero M.A., Cegarra, J. (1998) Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared with a Wide Range of Organic Wastes. *Bioresource Technology*, 63, 91–99.
- Blazy, V., de Guardia, A., Benoist, J.C., Daumoin, M., Lemasle, M., Wolbert, D., Barrington S. (2014) Odorous Gaseous Emissions as Influence by Process Condition for the Forced Aeration Composting of Pig Slaughterhouse Sludge. *Waste Management*, 34, 1125–1138.
- Boldrin, A., Christensen, T. H. (2010) Seasonal Generation and Composition of Garden Waste in Aarhus (Denmark). *Waste Management*, 30, 551–557.
- Bootsma, S., Leuwerink, T., Bilsen, I. (2014) Online Air Monitoring with E-noses at the Tata Steel Plant in the Netherlands. *Chemical Engineering Transactions*, 40, 79–84.
- Both, R., Sucker, K., Winneke, G., Koch, E. (2004) Odour Intensity and Hedonic Tone-Important Parameters to describe Odour Annoyance to Residents. *Water Science and Technology*, 50, 83–92.
- Brancher, M., Griffiths, K.D., Franco, D., de Melo Lisboa, H. (2017) A Review of Odour Impact Criteria in Selected Countries around the World. *Chemosphere*, 168, 1531–1570.
- Brattoli, M., de Gennaro, G., de Pinto, V., Loiotile, A. D., Lovascio, S., Penza, M. (2011) Odour detection Methods: Olfactometry and Chemical Sensors. *Sensors*, 11, 5290–5322.
- Bustamante, M.A., Surez-Estrella F., Torrecillas, C., Paredes, C., Moral, R., Moreno, J. (2010) Use of Chemometrics in the Chemical and Microbiological Characterization of Composts from Agroindustrial Wastes, *Bioresource Technology*, 101, 4068–4074.
- Büyüksönmez, F., Evans, J. (2007) Biogenic Emissions from Green Waste and Comparison to the Emissions Resulting from Composting Part II: Volatile Organic Compounds (VOCs). *Compost Science & Utilization*, 15, 191–199.
- Cáceres, R., Flotats, X., Marfà, O. (2006) Changes in the Chemical and Physicochemical Properties of the Solid Fraction of Cattle Slurry During Composting Using Different Aeration Strategies. *Waste Management*, 26, 1081–1091.

Cadena, E., Colon, J., Sanchez, A., Font, X., Artola, A. (2009) A Methodology to determine Gaseous Emissions in a Composting Plant. *Waste Management*, 29, 2799–2807.

Camo Software. (2018) <http://www.camo.com/rt/Products/Unscrambler/unscrambler.html> [Πρόσβαση: 16.4.2018]

Campitelli, P., Ceppi, S. (2008) Chemical, Physical and Biological Compost and Vermicompost Characterization: A Chemometric Study, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 90, 64–71.

Capelli, L., Sironi, S., Centola, P., Del Rosso, R., Il Grande, M. (2008) Electronic Noses for the Continuous Monitoring of Odours from a Wastewater Treatment Plant at Specific Receptors: Focus on Training Methods. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 131, 53–62.

Cayueta, M.L., Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A. (2010) Two-phase Olive Mill Waste Composting: Enhancement of the Composting Rate and Compost Quality by Grape Stalks Addition. *Biodegradation*, 21, 465–473.

Cegarra, J., Alburquerque, J.A., González, J., Tortosa, G., Chaw, D. (2006) Effects of the Forced Ventilation on Composting of a Solid Olive-Mill by-Product (“alperujo”) Managed by Mechanical Turning. *Waste Management*, 26, 1377–1383.

Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., Sánchez A. (2017) Composting of Food Wastes: Status and Challenges. *Bioresource Technology*, 248, 57–67.

Chen, H., Jiang, W., Yang, Y., Yang, Y., Man X. (2017) State of the Art on Food Waste Research: a Bibliometrics Study from 1997 to 2014. *Journal of Cleaner Production* 140, 840–846.

Cicatiello, C., Franco, S., Pancino, B., Blasi, E. (2016) The Value of Food Waste: An Exploratory Study on Retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services* 30, 96–104.

Colón, J., Martínez-Blanco, J., Gabarrell, X., Artola, A., Sánchez, A., Rieradevall, J., Font, X. (2010) Environmental Assessment of Home Composting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 893–904.

Cooperband, L. (2002) The Art and Science of Composting. A resource for Farmers and Compost Producers. <https://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf> [Πρόσβαση: 21.8.2017]

- Delgado-Rodriguez, M., Ruiz-Montoya, M., Giraldez, I., Lopez, R., Madejon, E., Diaz, M.J. (2012) Use of electronic nose and GC-MS in detection and monitoring some VOC. *Atmospheric Environment*, 51, 278–285.
- Diaz, L., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., Stentiford, E. (2007) Compost Science and Technology. *Waste Management*, 8, 1–357.
- Dimambro M.E., Lillywhite R.D., Rahn C.R. (2007) The Physical, Chemical and Microbial Characteristics of Biodegradable Municipal Waste Derived Composts. *Compost Science & Utilization*, 15, 243–52.
- Dincer, F., Odabasi, M., Muezzinoglu, A. (2006) Chemical Characterization of Odorous Gases at a Landfill Site by Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1122, 222–229.
- Doublet, J., Francou, C., Poitrenaud, M., Houot, S. (2011) Influence of Bulking Agents on Organic Matter Evolution During Sewage Sludge Composting; Consequences on Compost Organic Matter Stability and N Availability. *Bioresource Technology*, 102, 1298–1307.
- Duan, C., Shen, Z., Wu, D., Guan, Y. (2011) Recent Developments in Solid-Phase Microextraction for on-site Sampling and Sample Preparation. *Trends in Analytical Chemistry*, 30, 1568–1574.
- Eartheasy (2014) Composting. http://eartheasy.com/grow_compost.html [Πρόσβαση: 15.11.2017]
- Eco Innovation. (2013) Separate Waste Systems. <http://separate-wastesystems.eu/contents/deliverablesdocs/separate-country-profiles.pdf> [Πρόσβαση: 16.12.2017]
- Einax W.J. (2004) Chemometrics in Analytical Chemistry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 380, 368–369.
- Environment and Climate Change Canada. (2013) Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing. https://www.ec.gc.ca/gdd-mw/3E8CF6C7-F214-4BA2-A1A3-163978EE9D6E/13-047-ID-458-PDF_accessible_ANG_R2-reduced%20size.pdf [Πρόσβαση: 10.12.2017]

- European Compost Network (2018) Country Report Netherlands. <https://www.compostnetwork.info/download/country-report-netherlands/> [Πρόσβαση: 16.4.2018]
- European Compost Network. (2016) Bio-waste: The Valuable Organic Resource in a Circular Economy. <https://www.compostnetwork.info/download/bio-waste-valuable-organic-resource-circular-economy/> [Πρόσβαση: 22.8.2017]
- European Compost Network. (2016a) Bio-Waste: The Value Organic Resource in a Circular Economy. <https://www.compostnetwork.info/download/bio-waste-valuable-organic-resource-circular-economy/> [Πρόσβαση: 16.7.2017]
- European Compost Network. (2016b) Separate Collection of Bio-Waste in Europe. <https://www.compostnetwork.info/policy/biowaste-in-europe/separate-collection/> [Πρόσβαση: 16.12.2017]
- Eurostat. (2018) Municipal Waste Statistics. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics [Πρόσβαση: 16.4.2018]
- Farrell, M., Jones, D.L. (2009) Critical Evaluation of Municipal Solid Waste Composting and Potential Compost Markets. *Bioresource Technology*, 100, 4301–4310.
- Faverial, J., Sierra, J. (2014) Home Composting of Household Biodegradable Wastes under the Tropical Conditions of Guadeloupe (French Antilles). *Journal of Cleaner Production*, 83, 238–244.
- Fischer, G., Albrecht, A., Jäckel, U., Kämpfer, P. (2008) Analysis of Airborne Microorganisms, MVOC and Odour in the Surrounding of Composting Facilities and Implications for Future Investigations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211, 132–142.
- Franke-Whittle, H.I., Confalonieri, A., Insam, H., Schlegelmilch, M., Körner, I. (2014) Changes in the Microbial Communities During Co-Composting of Digestates. *Waste Management*, 34, 632–641.
- Füleky, G., Benedek, S. (2010) Composting to Recycle Biowaste. Sociology, Organic Farming, *Climate Change and Soil Science Sustainable Agriculture Reviews*, 3, 319–346.

Garcia-Gomez, A., Roig, A., Bernal, M.P. (2003) Composting of the Solid Fraction of Olive Mill Wastewater with OL: Organic Matter Degradation and Biological Activity. *Bioresource Technology*, 86, 59–64.

Gebicki, J., Byliński, H., Namieśnik, J. (2016) Measurement Techniques for Assessing the Olfactory Impact of Municipal Sewage Treatment Plants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32, 1–15.

German Compost Quality Assurance Organisation. (2013) Presentation of the Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK). <https://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/Presentation-BGK-2014-03-12.pdf> [Πρόσβαση: 16.4.2018]

Giannoukos, S., Brkic, B., Taylor, S., Marshall, A. Verbeck., G. (2016) Chemical Sniffing Instrumentation for Security Applications. *Chemical Reviews*, 116, 8146–8172.

Giuliani, S., Zarra, T., Nicolas, J., Naddeo, V., Belgiorno, V., Romain, A.C. (2012). An Alternative Approach of the E-nose Training Phase in Odour Impact Assessment. *Chemical Engineering Transactions*, 30, 139–144.

Guillot, J.M., Bilsen, I., Both, R., Hangartner, M., Kost, W.J., Kunz, W., Nicolas, J., Oxbol, A., Secanella, J., Van Belois, H., Van Elst, T., Van Harreveld, T., Milan, B. (2012) The Future European Standard to determine Odour in Ambient air by Using Field Inspection. *Water Science and Technology*, 66, 1691–1698.

Gutierrez, M. C., Chica A. F., Martín M. A. Romain, A. C. (2014) Compost Pile Monitoring Using Different Approaches: GC-MS, E-nose and Dynamic Olfactometry., *Waste and Biomass Valorization*, 5, 469–479.

Hartz, K.T., Giannini, C. (1998) Duration of Composting of Yard Wastes Affects Both Physical and Chemical Characteristics of Compost and Plant Growth. *HortScience*, 33, 1192–1196.

Hasan, M.M.K., Sarkar, G., Alamgir, M., Bari, H.Q., Haedrich, G. (2012) Study on the Quality and Stability of Compost through a Demo Compost Plant. *Waste Management*, 32, 2046–2055.

- Huang, G.F., Wu, Q.T., Wong, J.W., Nagar, B.B. (2006) Transformation of Organic Matter during Co-Composting of Pig Manure with Sawdust. *Bioresource Technology*, 97, 1834–1842.
- Iglesias Jimenez, E., Perez Garcia, V. (1992) Determination of Maturity Indices for City Refuse Composts. *Agric. Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38, 331–343.
- Inbar, Y., Hadar, Y., Chen, Y. (1993) Recycling of Cattle Manure: The Composting Process and Characterization of Maturity. *Journal of Environmental Quality*, 22, 857–863.
- Ko, J.H., Kim, Y.K., Kim, T.H., Kim, N.C., Umeda, M. (2008) Evaluation of Maturity Parameters and Heavy Metal Contents in Composts made from Animal Manure. *Waste Management*, 28, 813–820.
- Komilis, D.P., Ham, R.K., Park, J.K. (2004) Emission of Volatile Organic Compounds during Composting of Municipal Solid Wastes. *Water Research*, 38, 1707–1714.
- Krogmann, U., Körner, I., Diaz, L.F. (2010). Composting: Technology. In: Christensen, T.H. (Ed.), *Solid Waste Technology and Management, John Wiley & Sons Ltd., Vol. 2. Chichester, UK*, pp. 533–568.
- Kumar, S. (2010) Composting of Municipal Solid Waste. *Critical Reviews in Biotechnology*, 31, 112–136.
- Lasaridi, K., Protopapa, I., Kotsou, M., Pilidis, G., Manios, T., Kyriacou, A. (2006) Quality Assessment of Composts in the Greek Market: The Need for Standards and Quality Assurance. *Journal of Environmental Management*, 80, 58–65.
- Levis, J.W., Barlaz, M.A., Themelis, N.J., Ulloa, P. (2010) Assessment of the State of Food Waste Treatment in the United States and Canada. *Waste Management*, 30, 1486–1494.
- Li, G., Zhang, F., Sun, Y., Wong, W.C.J., Fang, M. (2001) Chemical Evaluation of Sewage Sludge Composting as a Mature Indicator for Composting Process, *Water, Air, & Soil Pollution*, 132, 333–345.
- Liu, D., Zhang, R., Wu, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., Xu, Z., Shen, Q. (2011) Changes in Biochemical and Microbiological Parameters During the Period of Rapid Composting of Dairy Manure with Rice Chaff. *Bioresource Technology*, 102, 9040–9049.

- Liu, Q., Li, M., Chen, R., Li, Z., Qian, G., An, T., Fu, J., Sheng, G. (2009) Biofiltration Treatment of Odors from Municipal Solid Waste Treatment Plants. *Waste Management*, 29, 2051–2058.
- Lleó, T., Albacete, E., Barrena, R., Font, X., Artola, A., Sánchez A. (2013) Home and Vermicomposting as Sustainable Options for Biowaste Management. *Journal of Cleaner Production*, 47, 70–76.
- Lu Y, Wu X, Guo J. (2009) Characteristics of Municipal Solid Waste and Sewage Sludge Co-Composting. *Waste Management*, 29, 1152–1157.
- Lundie, S., Peters, G.M. (2005) Life Cycle Assessment of Food Waste Management Options. *Journal of Cleaner Production*, 13, 275–286.
- Manios, T. (2004) The Composting Potential of Different Organic Solid Wastes: Experience from the Island of Crete. *Environment International*, 29, 1079–1089.
- Mao, I., Tsai, C., Shen, S., Lin, T., Chen, W., Chen, M. (2006) Critical Components of Odors in Evaluating the Performance of Food Waste Composting Plants. *Science of the Total Environment*, 370, 323–329.
- Markes International. (2018) Thermal Desorption Applications Guide: Biological profiling.
https://pure.knaw.nl/portal/files/2519800/TD_Applications_Guide_Biological_profiling.pdf [Πρόσβαση: 16.4.2018]
- McKinley, V.L., Vestal, J.R. and Eralp, A.E. (1985) Microbial Activity in Composting. *Biocycle*, 26, 39–43.
- Müller, T., Thissen, R., Braun, S., Dott, W., Fischer, G. (2004) (M)VOC and Composting Facilities Part 2: (M)VOC Dispersal in the Environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 11, 152–157.
- Munoz, R., Sivret, E. C., Parcsi, G., Lebrero, R., Wang, X., Suffet, I. H., Stuetz, R.M. (2010) Monitoring Techniques for Odour Abatement Assessment. *Water Research*, 44, 5129–5149.

Nagaraj, A., Sattler, M. (2005) Correlating Emissions with Time and Temperature to Predict Worst-Case Emissions from Open Liquid Area Sources. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55, 1077–1084.

Nandwani, D. (2014) Sustainable Horticultural Systems. *Sustainable Development and Biodiversity*, 3, 1–285.

NCSS Statistical Software. (2018) Principal Components Analysis. [https://ncss-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Principal Components Analysis.pdf](https://ncss-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Principal%20Components%20Analysis.pdf)

[Πρόσβαση: 5.5.2018]

Oshimaa B.T., Moriyab T. (2008) A Preliminary Analysis of Microbial and Biochemical Properties of High-Temperature Compost. *Annals of New York Academy of Sciences*, 1125, 338–344.

Pandey, S.K., Kim, K.H. (2009) Comparative Analysis of Odorous Volatile Organic Compounds between Direct Injection and Solid Phase Microextraction: Development and Validation of a Gas chromatography–Mass Spectrometry-Based Methodology. *Journal of Chromatography A*, 1216, 5436–5444.

Papargyropoulou, E., Lozano, R., Steinberger, J., Wright, N., Bin Ujang, Z. (2014) The Food Waste Hierarchy as a Framework for the Management of Food Surplus and Food Waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106–115.

Pascual, J.A., Ayuso, M., Garcia, C., Hernández, T. (1997) Characterization of Urban Wastes According to Fertility and Phytotoxicity Parameters. *Waste Management & Research*, 15, 103–12.

Pragst, F. (2007) Application of Solid-Phase Microextraction in Analytical Toxicology. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 388, 1393–1414.

Quested, T.E., Parry, A.D., Easteal, S., Swannell, R. (2011) Food and Drink Waste from Households in the UK. *Nutrition Bulletin*, 36, 460–467.

Raviv, M., Tarre, S., Geler Z., Shelef, G. (1987) Changes in Some Physical and Chemical Properties of Fibrous Solids from Cow Manure and Digested Cow Manure During Composting. *Biological Wastes*, 19, 309–318.

- Read, M., Gregory, M.K., Phillips, P.S. (2009) An Evaluation of four Key Methods for Monitoring Household Waste Prevention Campaigns in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 9–20.
- Reinholds, I., Bartkevics, V., Silvis, I.C.J., van Ruth S.M., Esslinger, S. (2015) “Analytical Techniques Combined with Chemometrics for Authentication and Determination of Contaminants in Condiments: A Review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 44, 56–72.
- Risticovic, S., Niri, V.H., Vuckovic, D., Pawliszyn, J. (2009) Recent Developments in Solid-Phase Microextraction. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 393, 781–795.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin Iii, F.S., Lambin, E.F. (2009) A Safe Operating Space for Humanity. *Nature*, 461, 472–475.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H., Swings, J. (2003) A Survey of Bacteria and Fungi Occurring During Composting and Self-Heating Processes. *Annals of Microbiology*, 53, 349–410.
- Salhofer, S., Obersteiner, G., Schneider, F., Lebersorger, S. (2008) Potentials for the Prevention of Municipal Solid Waste. *Waste Management*, 28, 245–259.
- Sánchez-Arias, V., Fernández, F.J., Villaseñor, J., Rodríguez, L. (2008) Enhancing the Co-Composting of Olive Mill Wastes and Sewage Sludge by the Addition of an Industrial Waste. *Bioresource Technology*, 99, 6346–6353.
- Sierra, J., Desfontaines, L., Faverial, J., Loranger-Merciris, G., Boval, M. (2013) Composting and Vermicomposting of Cattle Manure and Greenwastes under Tropical Conditions: Carbon and Nutrient Balances and End-Product Quality. *Soil Research*, 51, 142–151.
- Slater, R.A., Frederickson, J. (2001) Composting Municipal Waste in the UK: Some Lessons from Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 359–374.
- Smith, S.R., Jasim, S. (2009) Small-scale Home Composting of Biodegradable household waste: overview of key results from a 3-year research programme in West London. *Waste Management & Research*, 27, 941–950.

- Souza-Silva, E., Jiang, R., Rodriguez-Lafuente, A., Gionfriddo, E., Pawliszyn, J. (2015) A Critical Review of the State of the Art of Solid-Phase Microextraction of Complex Matrices I. Environmental Analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 71, 224–235.
- Statheropoulos, M., Agapiou, A., Pallis, G. (2005) A study of Volatile Organic Compounds Evolved in Urban Waste Disposal Bins. *Atmospheric Environment*, 39, 4639–4645.
- Straight Manufacturing (2018). Composting. <https://evengreener.com/> [Πρόσβαση: 15.1.2018]
- Supelco. (1998) Instructions for the Supelco Solid Phase Microextraction Fiber Holder for Manual Use; Data Sheet No. T713019A; Supelco: Bellefonte, Penn.
- Tan, K.H. (2005) Soil Sampling, Preparation, and Analysis. *Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis*, pp. 567–623.
- Tatàno, F., Pagliaro, G., Di Giovanni, P., Floriani, E., Mangani, F. (2015) Biowaste Home Composting: Experimental Process Monitoring and Quality Control. *Waste Management*, 38, 72–85.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L. (2007) Influence of Organic Amendments on Soil Structure and Soil Loss under Simulated Rain. *Soil & Tillage Research*, 93, 197–205.
- Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y. (1998) Elimination of Phytotoxicity during Co-Composting of Spent Pig-Manure Sawdust Litter and Pig Sludge. *Bioresource Technology*, 65, 43–49.
- Tortosa, G., Alburquerque, J.A., Ait-Baddi, G., Cegarra, J. (2012) The Production of Commercial Organic Amendments and Fertilisers by Composting of two-phase Olive Mill Waste (“alperujo”). *Journal of Cleaner Production*, 26, 48–55.
- Tsai, C., Chen, M., Ye, A., Chou, M., Shen, S., Mao, I. (2008) The Relationship of Odor Concentration and the Critical Components Emitted from Food Waste Composting Plants. *Atmospheric Environment*, 42, 8246–8251.
- United States Department of Agriculture. (2010) Environmental Engineering National Engineering Handbook, Composting. <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/AWM/neh637c2.pdf> [Πρόσβαση: 15.7.2017]

United States Environmental Protection Agency (2017) Technical Overview of Volatile Organic Compounds. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#7> [Πρόσβαση: 5.8.2017]

Wei, Y., Li, J., Shi, D., Liu, G., Zhao, Y., Shimaoka, T. (2017) Environmental Challenges Impeding the Composting of Biodegradable Municipal Solid Waste: A Critical Review Resources. *Conservation and Recycling*, 122, 51–65.

Wilkins, K. (1994) Volatile Organic Compounds from Household Waste. *Chemosphere*, 29, 4753 – 4756.

World Bank. (2012) What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management. http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf [Πρόσβαση: 16.7.2017]

World Health Organization (2017) Ambient (outdoor) Air Quality and Health <http://www.who.int/sustainable-development/housing/health-risks/indoor-air-quality/en/> [Πρόσβαση: 5.8.2017]

Wrigley, N. (2002) “Food Deserts” in British Cities: Policy Context and Research Priorities. *Urban Studies*, 39, 2029–2040.

Zarra, T., Naddeo, V., Belgiorno, V., Reiser, M., Kranert, M. (2009) Instrumental Characterization of Odour: a Combination of Olfactory and Analytical Methods. *Water Science and Technology*, 59, 1603–1609.

Zheljazkov V.D., Warman P.R. (2004) Phytoavailability and Fractionation of Copper, Manganese, and Zinc in Soil following Application of two Composts to four Crops. *Environmental Pollution*, 131, 187–95.

Zorpas, A.A., Lasaridi, K., Pociovalisteanu, M.D., Loizia, P. (2017) Monitoring and Evaluation of Prevention Activities Regarding Household Organics Waste from Insular Communities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3567–3577.

Λιοδάκης, Σ. (2001) Αναλυτική χημεία Θέματα και Προβλήματα. *Εκδόσεις Παπασωτηρίου*, pp. 1–416.

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2004) Οδηγία 2004/42/ΕΚ του Συμβουλίου της 21ης Απριλίου 2004 για τον Περιορισμό των Εκπομπών Πτητικών Οργανικών Ενώσεων

που Οφείλονται στη Χρήση Οργανικών Διαλυτών σε Χρώματα Διακόσμησης και Βερνίκια και σε Προϊόντα Φανοποιίας Αυτοκινήτων και για την Τροποποίηση της Οδηγίας 1999/13/ΕΚ. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L 143/87, 30 Απριλίου 2004.

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (1999) Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 26^{ης} Απριλίου 1999 περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L 182/1, 1 Ιουλίου 1999.

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2000) Οδηγία 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4^{ης} Δεκεμβρίου 2000 για την Αποτέφρωση των Αποβλήτων. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L 332/91, 28 Δεκεμβρίου 2000.

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2008) Οδηγία 2008/1/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 15^{ης} Ιανουαρίου 2008 Σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L 24/8, 29 Ιανουαρίου 2008.

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2008) Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19^{ης} Νοεμβρίου 2008 για τα Απόβλητα και την Κατάργηση Ορισμένων Οδηγιών. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L 312/3, 22 Νοεμβρίου 2008.

Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (2009) Κανονισμός 1069/2009/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 21^{ης} Οκτωβρίου 2009 περί Υγειονομικών Κανόνων για Ζωικά Υποπροϊόντα και Παράγωγα Προϊόντα που δεν Προορίζονται για Κατανάλωση από τον Άνθρωπο και για την Κατάργηση του Κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L 300/1, 14 Νοεμβρίου 2009.

Τμήμα Περιβάλλοντος. (2016) Σχέδιο Διαχείρισης Λοιπών Αποβλήτων. http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/page20_gr/page20_gr?OpenDocument&print [Πρόσβαση: 16.4.2018]