



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Πτυχιακή εργασία**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ  
ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΑ  
ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΦΑΡΜΑΚΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ**

**Στέλλα Γιαννακού**

**Λεμεσός, Μάιος 2024**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ  
ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΑ  
ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΦΑΡΜΑΚΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ**

της

Στέλλας Γιαννακού

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Πέτρος Σάββα

Λεμεσός, Μάιος 2024

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Στέλλα Γιαννακού, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.



Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον σύζυγο μου, την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη υποστήριξη που μου προσέφεραν, ώστε να καταφέρω να εκπονήσω την μελέτη αυτή.

Ιδιαίτερα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Πέτρο Σάββα που μου εμπιστεύτηκε το θέμα αυτό αλλά και την πολύτιμη καθοδήγηση που είχα από τον ίδιο για την υλοποίηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την διπλωματική εργασία, στον γιο μου Φίλιππο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα βαρέα μέταλλα σε μια φαρμακοβιομηχανία αποτελούν παράγωγα των φαρμακευτικών προϊόντων τα οποία πρέπει να διαχειρίζονται σωστά. Έτσι ώστε να μην προκαλούν ρύπανση στο περιβάλλον, αφού χαρακτηρίζονται από μεταλλαξιογόνο δράση αλλά και καρκινογένεση. Τα κυριότερα μέταλλα που προκύπτουν από τις φαρμακοβιομηχανίες είναι το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το νικέλιο (Ni), ο ψευδάργυρος (Zn) ο σίδηρος (Fe), το χρώμιο (Cr) και ο υδράργυρος (Hg). Η Φαρμακευτική Βιομηχανία περιλαμβάνει πολλά στάδια και πολλές διεργασίες. Σε αυτή την εργασία γίνεται αναφορά στις τοξικές δράσεις των προαναφερόμενων βαρέων μετάλλων αλλά και τι θεωρείται απόβλητο βάση της Κυπριακής Νομοθεσίας από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις που περιέχουν φαρμακευτικά απόβλητα. Επίσης, παρουσιάζονται οι διεργασίες παραγωγής και σύνθεσης των παραγόμενων φαρμακευτικών αποβλήτων που πραγματοποιούνται για την ανάκτηση των δραστικών συστατικών. Για την ανάκτηση χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι αντίστροφης ώσμωσης, η νανοδιήθηση, η υπερδιήθηση η μακροδιήθηση και τα προσορφητικά υλικά. Μάλιστα, τα τελευταία θεωρούνται ως μια καλή μέθοδος απομάκρυνσης των βαρέων μετάλλων. Οι τρόποι απομάκρυνσης των βαρέων αποβλήτων που ενδείκνυται βάση της βιβλιογραφική ανασκόπησης, είναι οι διαδικασίες βιολογικής επεξεργασίας (αερόβιες και αναερόβιες διαδικασίες). Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται και οι προηγούμενες τεχνολογίες αντιρύπανσης που είναι οι τεχνολογίες μεμβράνης, ο ενεργός άνθρακας, η απόσταξη μεμβράνης, οι οξειδωτικές διεργασίες, η χρήση όζοντος, τα αντιδραστήρια Fenton, η φωτόλυση, η φωτοκατάλυση και η ηλεκτροχημική αναγωγή/οξείδωση. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων από τις φαρμακοβιομηχανίες εξαρτάται από το πιο στάδιο προκύπτει το κάθε απόβλητο και αν αυτό θα επαναχρησιμοποιηθεί στην παραγωγική διαδικασία ή όχι.

**Λέξεις κλειδιά:** φαρμακοβιομηχανία, βαρέα μέταλλα, τεχνολογίες αντιρύπανσης.

## **ABSTRACT**

The heavy metals in the pharmaceutical industry are derivatives of pharmaceutical products that must be managed properly to avoid environmental pollution, as they are characterized by mutagenic and carcinogenic action. The main metals produced by pharmaceutical industries are arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), zinc (Zn), iron (Fe), chromium (Cr), and mercury (Hg). Pharmaceutical drugs' production consists of many processes and stages. This paper refers to the toxic actions of the aforementioned heavy metals, as well as what is considered pharmaceutical waste within industrial facilities according to the Cypriot Legislation. Also, at the thesis at hand, the processes of production and composition of the pharmaceutical waste are presented and also how the waste can be 'recovered' and re-used for its active ingredients. Reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration, and adsorbent materials are used for recovery. In fact, the adsorbent materials are a good method for removing heavy metals. Based on the literature review, the suitable methods for removing heavy metals are the biological treatment processes (aerobic and anaerobic processes). In addition, the pollution control technologies are presented. Those are: membrane technologies, activated carbon, membrane distillation, oxidation processes, the use of ozone, Fenton reagents, photolysis, photocatalysis, and electrochemical reduction/oxidation. In conclusion, the most suitable operations to be taken for waste by pharmaceutical industries depend on the stage in which the waste arises and whether it will be reused in the production process or not.

**Keywords:** pharmaceutical industry, heavy metals, pollution control technologies.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	xii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ .....	xiii
1 Εισαγωγή .....	1
2 Βαρέα Μέταλλα .....	4
2.1 Αρσενικό (Arsenic - Ar) .....	5
2.2 Κάδμιο (Cadmium – Cd).....	6
2.3 Μόλυβδος (Lead - Pb).....	7
2.4 Νικέλιο (Nickel-Ni) .....	7
2.5 Ψευδάργυρος (Zinc – Zn) .....	8
2.6 Σίδηρος (Iron - Fe) .....	9
2.7 Χαλκός (Copper – Cu) .....	9
2.8 Υδράργυρος (Mercury - Hg).....	10
3 Απόβλητα Φαρμακευτικών Βιομηχανιών .....	11
3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διανομή και τη διάσπαση φαρμακευτικών ουσιών στο περιβάλλον .....	12
3.2 Περιβαλλοντική πολιτική και νομοθεσία.....	12
4 Διεργασίες Παραγωγής και Σύνθεσης των Παραγόμενων Φαρμακευτικών Αποβλήτων .....	14
4.1.1 Διεργασίες χημικής σύνθεσης.....	15
4.1.2 Διεργασίες ζύμωσης.....	17

4.1.3	Διεργασίες εκχύλισης προϊόντων.....	19
4.1.4	Διεργασίες παρασκευής φαρμακευτικών σκευασμάτων .....	21
4.2	Μαζική παραγωγή φαρμακευτικών σκευασμάτων και κατανάλωση νερού....	23
5	Επεξεργασία Αποβλήτων Φαρμακευτικών Βιομηχανιών .....	24
5.1	Διεργασίες ανάκτησης δραστικών συστατικών ή φαρμάκων .....	24
5.1.1	Προσροφητικά υλικά .....	27
5.1.1.1	Μεταλλικά-οργανικά πλαίσια (Metal Organic Frameworks - MOFs)	
	30	
5.2	Τρόποι διαχείρισης ροών αποβλήτων .....	31
5.2.1	Διαδικασίες βιολογικής επεξεργασίας.....	31
5.2.1.1	Αερόβια επεξεργασία.....	32
5.2.1.2	Διεργασία ενεργού ιλύος – ενεργού άνθρακα.....	32
5.2.1.3	Οξειδωτική τάφος .....	34
5.2.1.4	Αεριζόμενη λίμνη ( <i>aerated lagoon</i> ).....	34
5.2.2	Βιοαντιδραστήρες μεμβράνης - Membrane BioReactors (MBRs).....	35
5.2.3	Αναερόβια επεξεργασία.....	36
6	Προηγμένες Τεχνολογίες Επεξεργασίας.....	41
6.1.1	Τεχνολογίες μεμβράνης .....	41
6.1.2	Ενεργός άνθρακας (Activated Carbon - AC).....	43
6.1.3	Απόσταξη μεμβράνης (Membrane Distillation - MD) .....	44
6.1.4	Προηγμένες οξειδωτικές διαδικασίες .....	45
6.1.5	Επεξεργασία με χρήση όζοντος / υπεροξειδίου του υδρογόνου.....	46
6.1.6	Οξείδωση με χρήση αντιδραστήριου Fenton.....	48
6.1.7	Φωτόλυση .....	49
6.1.8	Φωτοκατάλυση .....	50
7	Ανάλυση Αποτελεσμάτων .....	54

8	Συμπεράσματα .....	56
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	58

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Πηγές διάθεσης φαρμακευτικών προϊόντων στους υδάτινους πόρους και στο έδαφος .....	3
Διάγραμμα 2: Τα κυριότερα φαρμακευτικά απόβλητα που ανιχνεύονται στην φαρμακευτική βιομηχανία .....	5
Διάγραμμα 3: Ροή χημικής σύνθεσης σε μια τυπική βιομηχανία παραγωγής φαρμάκων. ....	16
Διάγραμμα 4: Ροή διεργασιών παρασκευής φαρμακευτικών προϊόντων.....	20
Διάγραμμα 5: Ροή διεργασιών παραγωγής υδατικών αποβλήτων κατά την παραγωγή των τελικών προϊόντων μιας φαρμακοβιομηχανίας .....	22
Διάγραμμα 6: Οι εφαρμογές των MOF ως πληρωτικά και προσροφητικά υλικά σε μεμβράνες για το διαχωρισμό βαρέων μετάλλων.....	31
Διάγραμμα 7: Αντιδραστήρας συνεχούς έργου πλήρους ανάμιξης, CSTR.....	38
Διάγραμμα 8: Σχηματική απεικόνιση των αναερόβιων φίλτρων (Anaerobic Filters, AF) .....	39
Διάγραμμα 9: Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος USAR .....	40
Διάγραμμα 10: Είδη μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των σωματιδιακών ρύπων με βάση την πίεση αναλόγως του είδους των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για κάθε διαδικασία .....	42
Διάγραμμα 11: Αντιδραστήρας ενεργού άνθρακα.....	44
Διάγραμμα 12: Αρχή λειτουργίας της μεμβράνης απόσταξης (MD) .....	45